

Schwingbeiwerte in Hochbauten
mit Fahrverkehr

Kühn, Steinert

Juni 1974

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

30-0226/001

VIII
70

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

DIREKTOR : PROF. DR.-ING. K. KORDINA

~~XVIII 170~~

30-0226/001

Abschlußbericht zum Forschungsauftrag
Schwingbeiwerte in Hochbauten mit Fahrverkehr

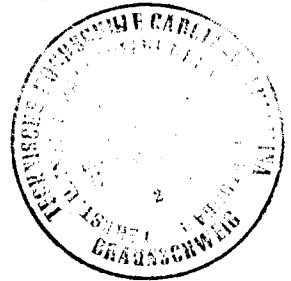
Bericht erstattet

von

Dipl.-Ing. E. Kühn

Dr.-Ing. J. Steinert

Juni 1974



Die Durchführung des Forschungsvorhabens wurde durch eine Sachbeihilfe der
DFG gefördert. Forschungsvorhaben Ko 204/16 vom 8.7.1971

DK 534

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1. Einleitung	2
2. Grundlagen	4
3. Durchführung der Untersuchungen	10
4. Ermittlung der Schwingbeiwerte	14
5. Meßergebnisse	19
6. Zusammenfassung	24
Literaturverzeichnis	

Anhang :

Anlage 1 - Blatt 1 bis 5	: Systembeschreibung
Anlage 2 - Blatt 1 bis 4	: Fotobeilagen
Anlage 3 - Blatt 1 bis 7	: Meßbeispiele
Anlage 4 - Blatt 1 bis 3	: Auswertebeispiele
Anlage 5 - Blatt 1 bis 6	: Meßergebnisse "Normalfahrt"
Anlage 6 - Blatt 1 und 2	: Meßergebnisse "Schnellstop"
Anlage 7	: Meßergebnisse "Schwelle"

Diagramme :

Anlage 8	: Einfluß der Geschwindigkeit - Mittelwert für sämtliche Normalfahrten -
Anlage 9	: Einfluß der Geschwindigkeit auf φ - Messung im Bauwerk 1.5 -
Anlage 10	: Einfluß der Geschwindigkeit auf φ_1 - Messung im Bauwerk 1.5 -
Anlage 11	: Änderung der Durchbiegung mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit - Messung am Bauwerk 1.4 -
Anlage 12	: Abweichung der Fahrspur von der Hauptspur - Einfluß auf φ -
Anlage 13	: Abweichung der Fahrspur von der Hauptspur - Einfluß auf φ_1 -
Anlage 14	: Einfluß des Belastungsgrades auf den Schwingbeiwert - Messung im Bauwerk 1.5 -
Anlage 15	: Schwingbeiwert für Kranwagen und Gabelstapler
Anlage 16	: Schwingbeiwert bei Schnellstop
Anlage 17	: Schwingbeiwert beim Überfahren einer einzelnen größeren Unebenheit
Anlage 18	: Schwingbeiwert von Riffelstrecken - Messung im Bauwerk 1.5 -
Anlage 19	: Spektrale Welligkeit und Dichte

1. Einleitung

Im Zuge der Neubearbeitung von DIN 1055, Blatt 3, Verkehrslasten, ist vorgesehen, auch Abschnitt 8: "Schwingbeiwerte - Stoßzahlen", neu zu fassen. Dieser Abschnitt lautet bisher (Fassung Juni 1971) u. a.:

"Verkehrslasten, die Stöße oder Schwingungen verursachen, sind von Fall zu Fall mit einer Stoßzahl bzw. dem Schwingbeiwert φ zu vervielfachen".

Der Schwingbeiwert beträgt, sofern kein genauere Nachweis geführt wird:

- a) für Hofkellerdecken usw. nach Abschnitt 6.3.1 ("und an den von Fahrzeugen befahrenen Decken")...
- b) für von Gabelstaplern befahrene Decken nach Abschnitt 6.3.2 ("Decken in Werkstätten, Fabriken, Lagerräumen")
- c) für Hubschrauber-Landeplätze auf Dachdecken nach Abschnitt 6.4:

$$\varphi = 1,4."$$

Der o.a. Schwingbeiwert ist in Anlehnung an den für Straßen- und Wegbrücken, DIN 1072, festgelegten Beiwert $\varphi = 1,4 - 0,008 l_{\varphi}$ gewählt worden; l_{φ} : maßgebende Länge in m. Mit dem Schwingbeiwert φ sollen nicht nur die Spannungsausschläge aus Schwingungen der Verkehrslasten, sondern auch Stoßwirkungen beim Überfahren von Unebenheiten sowie der Einfluß mitschwingender Massen pauschal erfaßt werden. Demgegenüber bleibt jedoch der Einfluß der Dauerfestigkeit auf das Material unberücksichtigt.

Im dem bisher verwendeten konstanten Schwingbeiwert werden also im einzelnen weder das statische System, noch der Belastungsgrad, noch dynamische Einflüsse berücksichtigt. Die Entwicklung zu immer leichteren Bauweisen unter Ausschöpfung der Baustoff-Beanspruchbarkeit macht aber in zunehmendem Maße die Verwendung wirklichkeitsnahe Beiwerte erforderlich, die ein wirtschaftliches Bauen unter Beachtung der notwendigen Sicherheiten garantieren.

In der erwähnten Neufassung von DIN 1055, Blatt 3, soll die dynamische Wirkung nicht vorwiegend ruhender Lasten, hier speziell durch Fahrverkehr in Hochbauten, wiederum mit Lastzuschlägen erfaßt werden. Die Lastzuschläge werden als dynamische Beiwerte durch das Verhältnis von maximaler Durchbiegung unter der fahrenden Last w_{dyn} zur statischen Durchbiegung unter stehender Last w_{stat} - im Bereich größter Verformung - definiert. Eine rechnerische Ermittlung der Schwingbeiwerte für einzelne bestimmte Bauwerke ist wegen der komplexen Einflüsse

- statisches System
- Fahrbahnbelag
- Fahrzeugart (Radstände, Lastverteilung, bewegte Massen)
- Geschwindigkeit

nicht möglich. Infolgedessen bestand die Notwendigkeit, Schwingbeiwerte für Hochbauten mit Fahrverkehr experimentell zu ermitteln.

Der Großteil aller befahrenen Decken ist in Parkhäusern u.a. Einrichtungen zu finden. Dort werden die Belastungen nach der derzeit gültigen Fassung von DIN 1055 als vorwiegend ruhend angenommen und der dynamische Einfluß vermutlich durch entsprechend hohe statische Lastannahmen abgedeckt. Wegen der guten Zugänglichkeit bieten sich aber derartige bauliche Anlagen für eine experimentelle Ermittlung der Schwingbeiwerte durch Fahrverkehr an.

Die Untersuchungen, über die nachfolgend Bericht erstattet wird, sind nach Absprache mit dem FN-Bau-Arbeitsausschuß "Lastannahmen/Unterausschuß Verkehrslasten" im ETB-Ausschuß abgestimmt und durch eine Sachbeihilfe der DFG ermöglicht worden. Die Durchführung der Untersuchungen erfolgte in den Jahren 1972/1973.

Konzeption und Umfang der Untersuchungen:

Die Untersuchungen wurden - unter Berücksichtigung der Vorschläge der DFG-Fachgutachter - nach folgendem Arbeitsplan durchgeführt:

Nach anfänglicher Vorstellung sollten für diese Messungen etwa sechs Hochbauten mit Fahrverkehr ausgewählt werden, zur Hälfte jeweils etwa mehrgeschossige Parkanlagen und Industriebauten. Zu diesem Zweck wurden namhafte Bauunternehmungen, Staatshochbauämter sowie städtische Bauämter, Bauabteilungen größerer Firmen, Parkhausgesellschaften und vermutete Nutznießer derartiger Anlagen angeschrieben. Aus den eingegangenen Rückantworten wurden die Bauwerke für die Messungen nach folgenden Merkmalen ausgewählt:

- Verwendungszweck (Parkanlage, Hofpellerdecke, Industriebau)
- Bauweise (Fertigteile oder Ortbeton) und statisches System
- Dynamische Belastung (PKW, Stapler, Kran, Hubschrauber)
- Zugänglichkeit (wichtige Größe im Hinblick auf den Meßaufwand)

Endgültig wurden ausgewählt und geprüft, s. Tabelle 1 und Anhang, Anlage 1:
3 Hofkellerdecken, 5 Parkdecks, Parkpaletten oder Parkhäuser und
3 Industriebauten.

Die Anzahl der untersuchten Bauwerke wurde also gegenüber der ursprünglichen Absicht vergrößert: Als die ersten Messungen zeigten, daß der Schwingbeiwert kleiner als angenommen sein würde, galt es diesen wichtigen Sachverhalt an möglichst vielen Bauwerken zu bestätigen.

Als dynamischer Beiwert wurde gemäß üblicher Konvention die o.a. Größe

$$(1) \quad \varphi = \frac{w_{\text{dyn}}}{w_{\text{stat}}} \rightarrow \frac{w_{\text{max}}}{w_{\text{stat}}}$$

durch Verformungsmessungen ermittelt, und zwar in Abhängigkeit von folgenden Einflußgrößen:

Nutzlast (Auslastung der Decken) und Last der Fahrzeuge,

Fahrgeschwindigkeit und Fahrspurabweichungen sowie

Dynamische Zusatzlasten, wie Schnellstop oder Fahrt über künstliche Unebenheiten.

Selbstverständlich konnten diese Parameter nicht an allen untersuchten Bauten zugleich studiert werden.

Das Ergebnis dieser experimentellen Untersuchungen sind Schwingbeiwerte, die unmittelbar Eingang in die bauaufsichtlichen Richtlinien finden können.

2. Grundlagen

Unter den Schwingbeiwert φ wird im folgenden das Verhältnis von maximaler Deckendurchbiegung w_{max} beim Überfahren der Decke - jeweils gemessen in Feldmitte bzw. am selben Ort, unabhängig vom tatsächlichen Standort des Fahrzeugs - zur Deckendurchbiegung w_{stat} infolge statischer Belastung mit

derselben Last - gemessen an derselben Stelle wie w_{\max} - verstanden:

$$(1) \quad \varphi = \frac{w_{\max}}{w_{\text{stat}}}$$

Einen derartigen Beiwert zur vereinfachten Beschreibung der dynamischen Beanspruchung zu wählen, ist nur sinnvoll, wenn lineare Verhältnisse und damit Superponierbarkeit gegeben sind. Dann ergibt sich nämlich aufgrund der Kausalität

$$\text{von } P_{\text{stat}} \rightarrow \sigma_{\text{stat}} \rightarrow w_{\text{stat}}$$

$$\text{und } P_{\text{dyn}} \rightarrow \sigma_{\text{dyn}} \rightarrow w_{\text{dyn}}$$

die Möglichkeit, die - unbekannte - dynamische Belastung aus der statischen Last und dem Schwingbeiwert zu bestimmen,

$$(2) \quad P_{\text{dyn}} = P_{\text{stat}} \frac{w_{\text{dyn}}}{w_{\text{stat}}} \leq P_{\text{stat}} \frac{w_{\max}}{w_{\text{stat}}}$$

und zwar für beliebige Lasten, innerhalb des o.a. Linearitätsbereichs, in dem beim Übergang von P_{stat} auch $n \cdot P_{\text{stat}}$ - mit $n \geq 1$ - auch der Übergang von P_{dyn} zu $n \cdot P_{\text{dyn}}$, also

$$(3) \quad n \cdot P_{\text{dyn}} = n \varphi \cdot P_{\text{stat}}$$

gelten wird. Unter Berücksichtigung der Materialermüdung bei dynamischer Belastung durch den Ermüdungsbeiwert μ kommt man in bekannter Weise zur statischen Ersatzlast

$$(4) \quad P_E = \mu \varphi P_{\text{stat}},$$

die bei Bemessungsverfahren nach zulässigen Spannungen üblicherweise Verwendung findet.

Die oben angeführte Unabhängigkeit der Ersatzlast von der statischen Belastung ist praktisch jedoch nicht vorhanden, s. Gl. (11), weil sich mit zunehmender ruhender Belastung des statischen Tragsystems dessen Eigenfrequenz ändert und damit auch der zu erwartende Schwingbeiwert, also die

Ersatzlast. Auf diese Abhängigkeit des Schwingbeiwertes vom Belastungsgrad λ ist u. W. zuerst in /7/ nachdrücklich hingewiesen worden.

Die dynamische Wirkung wird verursacht

- a) durch die Bewegung der Fahrzeuge nach bestimmten Zeitfunktionen $v(t)$,
- b) durch die Bewegung längs nicht ebener Oberflächen, Trennfugen usw.

Während die durch a) bedingten Deckenverformungen theoretisch immer determiniert sind, in dem Sinne, daß zur gegebenen Geschwindigkeit der bewegten Last immer eine im voraus bestimmbare Verformung gehört, bewirken die selbst nur durch statistische Parameter (spektrale Dichte) zu kennzeichnenden Fahrbahnunebenheiten sich zufällig ändernde Kräfte, die wie die Unebenheiten nur mit statistischen Methoden beschrieben werden können. Der Schwingbeiwert für Decken mit Fahrverkehr kann daher aus einem determinierten und einem stochastischen Anteil zusammengesetzt angenommen werden, vgl. /7/,

$$(5) \quad \varphi = \varphi_{\text{det}} + \varphi_{\text{sto}} ,$$

wobei zur Berechnung der einzelnen Anteile naturgemäß unterschiedliche mathematische Methoden anzuwenden sind.

Über die Verformung von Balken und Platten durch eine wandernde Masse oder Kraft liegen zahlreiche Arbeiten vor, die jedoch sämtlich an Einschränkungen gebunden sind, insbesondere hinsichtlich der Geometrie und der Randbedingungen des Tragwerks sowie der Zeitfunktion der bewegten Last. Eine rechnerische Abschätzung der Schwingbeiwerte realer Bauwerke ist deshalb auf einfache Weise mit dem Ziel verallgemeinerungsfähiger Aussagen nicht möglich.

Im folgenden werden einige dieser Arbeiten erwähnt, wegen der Darstellung grundsätzlicher Abhängigkeiten jedoch nur auf die Fassung von Timoshenko /1/ eingegangen, der u.a. den Fall einer mit konstanter Geschwindigkeit v über einen beidseitig gelenkig gelagerten Balken der Stützweite l bewegten konstanten Kraft P behandelt hat. Dieser Fall liegt z.B. bei einem mit mäßiger Geschwindigkeit fahrenden Gabelstapler mit steifem Aufbau vor, dessen Masse im Vergleich zur Deckenmasse vernachlässigbar klein ist.

Für die Durchbiegung des o.a. Systems an einer beliebigen Stelle gilt bei den Anfangsbedingungen $w(x, 0) = \dot{w}(x, 0) = 0$:

$$(6) \quad w_{\text{dyn}} = \frac{2P}{\pi^4} \cdot \frac{1^3}{EI} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{i\pi x}{l} (\sin i\omega t - \frac{\omega}{i\omega_0} \sin i^2\omega_0 t)}{i^2(i^2 - \omega^2/\omega_0^2)}$$

mit $\omega = \pi \frac{v}{l}$: Fahr-"Kreisfrequenz"

$$\omega_0 = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho F}} : \text{Eigenkreisfrequenz}; \omega_0 = 2\pi f_0$$

Bei Berücksichtigung einer Dämpfung proportional der Schwinggeschwindigkeit erhält man noch einen ähnlichen Ausdruck; lediglich ist der die Eigenschwingung beschreibende Subtrahend mit einem Exponentialfaktor erweitert, der den Abklingvorgang beschreibt, abgesehen von einer unbedeutenden Abnahme der Eigenfrequenz infolge der Dämpfung.

Für $\omega \sim v \rightarrow 0$ und $\omega t = \pi \frac{vt}{l} \rightarrow \frac{\pi}{l} c$ - c: Ort der Krafteinwirkung - erhält man

$$(7) \quad w_{\text{stat}} = \frac{2P}{\pi^4} \cdot \frac{1^3}{EI} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i^4} \sin \frac{i\pi x}{l} \cdot \sin \frac{i\pi c}{l}$$

In Feldmitte $x = \frac{l}{2}$ gilt:

$$(8) \quad w_{\text{stat}} = \frac{2P}{\pi^4} \cdot \frac{1^3}{EI} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin^2 i \frac{\pi}{2}}{i^4} = \frac{2P}{96} \frac{1^3}{EI}$$

und somit schreibt sich der Schwingbeiwert in Feldmitte

$$(9) \quad \psi = \frac{w_{\text{dyn}}}{w_{\text{stat}}} = \frac{96}{\pi^4} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin i \frac{\pi}{2} (\sin i\omega t - \frac{\omega}{i\omega_0} \sin i^2\omega_0 t)}{i^2(i^2 - \omega^2/\omega_0^2)}$$

Diese Funktion stellt die Biegedurchbiegung dar, überlagert von Balkeneigenschwingungen und vergrößert um den Faktor $\frac{1}{1-(\omega/\omega_0)^2} = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{2lf_0^2}}$.

In Bild 1 ist u.a. Gl. (9) für $\omega/\omega_0 = 21$ bzw. 81 dargestellt. Dieses Beispiel entspricht wegen $lf_0 \approx 60 \dots 200$ bei biegeweicher bzw. steifer Fahrbahn ungefähr Fahrgeschwindigkeiten von 5 bis 20 m/s oder 18 bis 72 km/h.

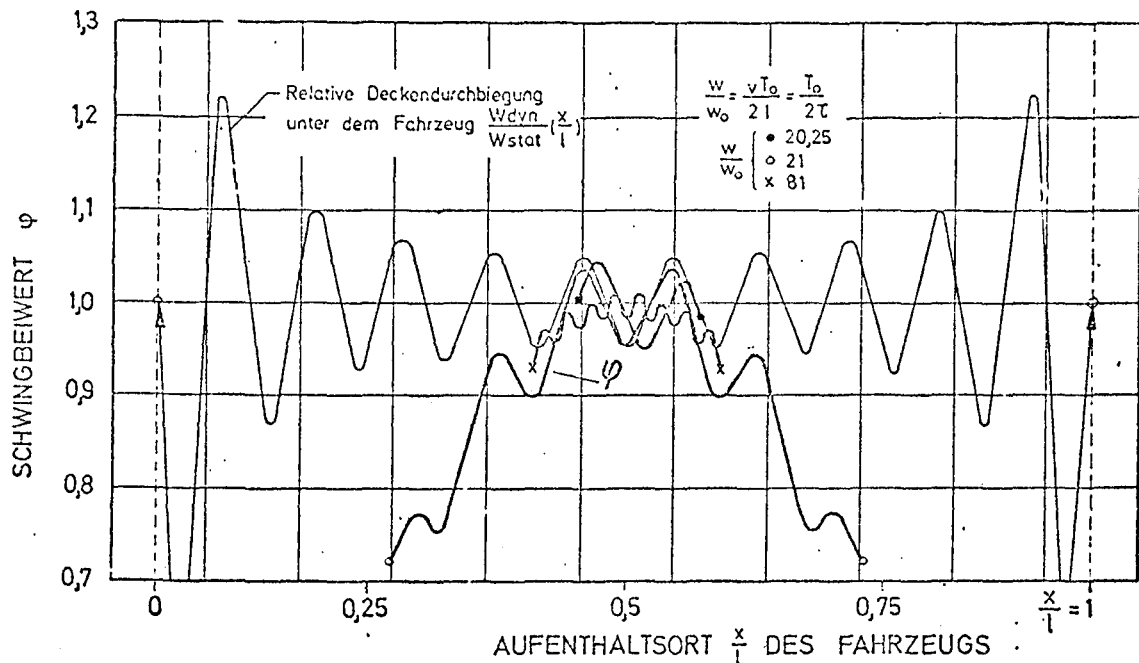


Bild 1: Deckendurchbiegung in Feldmitte infolge einer bewegten Kraft

In Feldmitte wird der Größtwert des Schwingbeiwertes nach Gl. (9) nur erreicht für $\omega_0/\omega = 3,7,11 \dots 3 + 4n$; $n = 0,1,2, \dots$

Wegen der raschen Konvergenz der Reihe erhält man bereits mit dem ersten Reihenglied eine brauchbare Näherung für den Schwingbeiwert

$$(10) \quad \varphi \approx \frac{\sin \omega t - (\omega/\omega_0) \sin \omega_0 t}{1 - (\omega/\omega_0)^2}$$

mit der oberen Grenze

$$(11) \quad \varphi = \frac{1 + (\omega/\omega_0)}{1 - (\omega/\omega_0)^2} = \frac{1}{1 - (\omega/\omega_0)}$$

Hiernach sind also bei einem biegeweichen Bauwerk, Deckeneigenfrequenz ≥ 10 Hz bei Spannweiten von 10 m, unter der Annahme einer Höchstgeschwindigkeit von 54 km/h ≈ 15 m/s grundsätzlich Beiwerte kleiner als $\varphi = 1,081$ zu erwarten.

Der Fall der bewegten konstanten Kraft hat den Vorteil einer geschlossenen Lösung, an der der Einfluß z.B. der Fahrgeschwindigkeit prinzipiell studiert werden kann. Leider ist der praktisch wichtige Fall eines beliebig bewegten Zweimassen-Schwingers (Fahrzeugaufbau auf Federung an Achsmassen auf Luftfedern) nicht so einfach zu behandeln. Bereits die Bewegung einer einzigen abgefederten Masse bei Bewegung über einen Balken wird zu den schwierigen Aufgaben der Baudynamik gerechnet, kann jedoch für spezielle Bauwerke durch Verwendung von Rechenautomaten gelöst werden /2, 9/.

Für die dynamische Beanspruchung befahrener Decken ist naturgemäß das Modell der mit konstanter Geschwindigkeit transportierten Kraft oder Masse längs eines Balkens weniger aufschlußreich als die Bewegung über eine Platte. Dieses Problem ist mit der Methode der finiten Elemente erfolgreich behandelt worden. Nach Yoshida /4/ ergeben sich bei bewegter Kraft für die Platte Beiwerte, die - bei gleichem Verhältnis ω/ω_0 - in etwa denen für die Balken entsprechen; bei bewegter Masse hängt das Ergebnis bekanntermaßen stark vom Verhältnis Fahrzeugmasse zu Balken- oder Plattenmasse ab.

Die Berechnung des zufallsbedingten Schwingbeiwertes φ_{sto} ist in Anlehnung an die Maximalwert-Statistik von windbeanspruchten Bauwerken /7/ von Zilch und Weisgerber /5/ durchgeführt worden. Danach gilt

$$(12) \quad \varphi_{sto} = g(\psi, T) \cdot \sigma_w$$

wobei σ_w die Standardabweichung von $w(t)$

$$\text{und } g(\psi, T) = \sqrt{2 \ln(\psi \cdot T)} + \frac{0,5772}{\sqrt{2 \ln(\psi \cdot T)}}$$

einen Gewichtungsfaktor bedeutet,

mit $\psi = \sqrt{\frac{\sigma_0^2}{\sigma^2}}$ gewogene Frequenz, je nach Dämpfung und spektralem Schwerpunkt der Leistungsdichte näherungsweise Eigenfrequenz oder Erregerfrequenz

T = Mittelungs-Zeitintervall

und nach /8/:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_w(\omega) d\omega = 4 \pi \int_0^{\infty} S_w(f) df = \overline{w^2}_{eff}$$

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S_w(\omega) d\omega = 4 \pi \int_0^{\infty} f^2 S_w(f) df$$

Ist die Standardabweichung von $w(t) - \sigma_w$ - unbekannt, muß diese Größe aus der spektralen Dichte für die Erregerkraft $S_p(w)$ und der Übertragungsfunktion bzw. Dämpfung und Eigenfrequenz des schwingungsfähigen Systems hergeleitet werden, was naturgemäß mit größeren Fehlern verbunden ist. Gleichung (12) ist durch Messung von σ_w an einem speziellen Bauwerk nachgeprüft worden.

3. Durchführung der Untersuchungen

Die Methode der Auswahl der untersuchten Bauten mit Fahrverkehr wurde bereits geschildert. Es wäre sicher wichtig zu wissen, daß die endgültig in Betracht gezogenen Bauwerke eine repräsentative Stichprobe für alle derartigen Gebäude darstellen. Allerdings fehlen hierfür geeignete Kriterien. Daher wurde angestrebt, eine möglichst große Vielfalt von klar überschaubaren Konstruktions-systemen zu untersuchen. Wie verschiedenartig die untersuchten Konstruktionen waren zeigt der Bereich der Decken-Eigenfrequenzen, der sich von 6 bis 40 Hz erstreckte.

Ausführliche Systembeschreibungen der einzelnen Bauten sind in Anlage 1 zusammengestellt, so daß auf weitere Erläuterungen verzichtet wird. In den dort angegebenen Systemskizzen sind auch die Meßstellen für die Deckendurchbiegung eingezeichnet. Im folgenden wird bei Hinweisen auf bestimmte Bauten zur Kennzeichnung die lfd. Nr. der Tabelle 1 verwendet.

Die Fahrzeuge für die Versuchsfahrten und für die statische Nutzlast entstammten entweder dem Institut bzw. Institutsangehörigen oder wurden vom Nutznießer in den untersuchten Bauten verwendet. Da sich bei vergleichenden Versuchsfahrten mit PKWs (Marke Audi 60 L und Fiat 124 S) annähernd gleiche Schwingbeiwerte ergaben wie mit einem VW-Transporter, wurde dieser in allen Bauten eingesetzt. Das mit einer Stahlplatte belastete, lt. Wägung mit Fahrer 1658 kg schwere Fahrzeug bot neben der infolge des höheren Gewichts größeren Deckendurchbiegung den Vorteil der Zuladungsmöglichkeit von Meßgeräten und Hilfskonstruktionen zur Fahrt an die einzelnen Zielorte. Der Transporter entspricht außerdem am ehesten dem Fahrzeugtyp, der vorwiegend in mit dynamischen Lastzuschlägen bemessenen Bauten eingesetzt wird.

Die Messung der Durchbiegungen erfolgte auf einfache, direkte Weise mit induktiven Wegaufnehmern, Type W 1 TK oder W 1 T/2 - ± 1 mm Meßweg, in Verbindung mit Trägerfrequenz-Meßbrücken, Type KWS II-V oder KWS VI A - 5 der Fa. HBM. Zur Anordnung der Wegaufnehmer unter den überfahrenen Decken oder Unterzügen wurden robuste aber dennoch demontierbare dreibeinige Holzgestelle unterschiedlicher Höhe gebaut, die einen ausziehbaren Mast besaßen, an dessen Spitze die Aufnehmer mit einer Bandage befestigt wurden, vgl. Anlage 2. Es wurde festgestellt, daß die Biege-Eigenfrequenz dieser Meßanordnung im allgemeinen über 40 Hz lag.

Tabelle 1: V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G

Lfd. Nr.	BAUWERK	FAHRZEUG	ANZAHL DER FAHRTEN	
			Normal- fahrten	Sonder- fahrten
1.1	<u>Parkgarage</u> der Stadthalle in Braunschweig	PKW Transporter	30 49	- 22
1.2	<u>Parkdeck</u> am Wellenbad in Altenau (Harz)	Transporter	48	9
1.3	<u>Parkpalette</u> Wolfsburg	Transporter	24	18
1.4	<u>Parkdeck</u> Med. Hochschule	Transporter	20	9
1.5	<u>Parkhaus</u> Wilhelmstraße in Braunschweig	Transporter 2 Fahrzeuge	21 14 7	234 11 9
2.1	<u>Fahrzeughalle</u> der Feuerwache in Braunschweig	Transporter Kranwagen 25,4 Mp	30 8	12 -
2.2	<u>Hofkellerdecke</u> ÜZH Helmstedt	Transporter	35	14
2.3	<u>Hofkellerdecke</u> Fa. Götz Dekoration Hamburg	Transporter	21	13
3.1	<u>Montagehalle</u> der Volkswagen AG Werk Salzgitter	Transporter Kranwagen 17,6 Mp Gabelstapler 8,3 Mp	38 10 10	49 13 8
3.2	<u>Sichtgebäude</u> der Lehrter Zucker AG Werk Lehrte	Gabelstapler 2,7 Mp	35	20
3.3	<u>Montagehalle</u> der Volkswagenwerk AG Werk Emden	Transporter Kranwagen 16,6 Mp	29 11	1 8

Das Meßsignal, eine der Deckendurchbiegung proportionale elektrische Spannung wurde einem Speicheroszillografen, Tektronix, Type 564 B, zugeführt und stand also zur Auswertung beliebig lange zur Verfügung. Um die vergleichende Auswertung der Meßergebnisse im Labor durchführen zu können, wurde der Oszillografenschirm fotografiert. Nach anfänglicher Verwendung einer Polaroid-Kamera wurde wegen der Staubanfälligkeit und des noch zu großen Zeitaufwandes bei der Messung "im Felde" bald zum Kleinbild-Farbfoto übergegangen, das bei geringeren Kosten und schnellerer Bildfolge einen bedeutend größeren Kontrast und damit auch eine größere Auswertegenauigkeit liefert.

Die Untersuchungen sollten insbesondere Aufschluß über die Abhängigkeit des Schwingbeiwertes von der Fahrgeschwindigkeit geben, die daher bei jeder Fahrt - möglichst über das ganze Deckenfeld - gemessen werden sollte. Eine jeweils konstante Fahrgeschwindigkeit wurde angestrebt. Es ist daher zunächst in das hauptsächlich verwendete Versuchsfahrzeug (VW-Transporter) ein Tachogenerator eingebaut und die Tacho-Spannung mit einem Kompensationsschreiber registriert worden. Diese Methode gibt zwar einen genauen Aufschluß über die Gleichmäßigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit, erlaubt jedoch während der Fahrt keine Sichtkontrolle zur Einhaltung bestimmter Geschwindigkeitswerte. Wegen dieser grundsätzlichen Schwierigkeit wurde ab den Messungen am Bauwerk 1.3 darauf verzichtet, bestimmte Geschwindigkeiten im voraus anzupeilen, sondern einfach dem Fahrer - über Sprechfunk - der Auftrag zu "sehr langsamer", "langsamer" oder "schneller Fahrt" gegeben und die gewünschte Geschwindigkeit durch langsamere oder schnellere Wiederholungsfahrten angenähert.

Die bei den einzelnen Fahrten erreichte Geschwindigkeit - Momentanwert an einer bestimmten Meßstelle - wurde auf einfache Weise durch Registrieren eines Druckimpulses gleichzeitig mit der Durchbiegung ermittelt. Zur Erzeugung des Impulses wurde ein dickwandiger Kunststoffschlauch von 10 mm Durchmesser verwendet, dessen eines Ende verschlossen und dessen anderes Ende an einen Druckaufnehmer, HBM - Type P 1 - 0,1-5 atü, angekoppelt war. Aus dem bekannten Achsabstand, für den VW-Transporter 2,40 m, und dem zeitlichen Abstand der Druckimpulse beim Überfahren des Schlauches mit Vorder- bzw. Hinterrädern kann die Geschwindigkeit recht genau bestimmt werden.

Der Speicheroszillograf gestattet es, die Deckendurchbiegung mehrerer Meßfahrten übereinander zu speichern, z.B. die Durchbiegung durch ein in Feldmitte abgestelltes Fahrzeug und die durch sehr schnelles Überfahren der Feldmitte. Daher können "Bilder" produziert werden, die den Schwingbeiwert unmittelbar erkennen lassen. Ein derartiges Verfahren hat sich jedoch wegen des Zeitaufwandes für das Auffinden der maximalen Deckendurchbiegung nicht bewährt. Es wurde versucht, die Fahrspur zu finden, bei der die größte statische Durchbiegung an der entsprechenden Meßstelle erzielt wird. Diese Fahrspur sollte dann bei allen Meßfahrten möglichst genau eingehalten werden. Da das Befahren von glatten Decken mit konstanter Geschwindigkeit unter 5 km/h dieselbe Durchbiegung bewirkt wie eine statische Belastung ($v = 0$), wurde die Durchbiegung bei "sehr langsamer Fahrt" als der statischen Belastung gleichwertig angesehen:

$$w_{\text{dyn}} (v < 5 \text{ km/h}) = w_{\text{stat}}!$$

Der Speicheroszillograf war mit einem 4-Kanal-Verstärkereinschub ausgestattet, so daß die Durchbiegung prinzipiell an vier Stellen zugleich registriert werden konnte. Im allgemeinen wurden drei Kanäle für die Durchbiegung und ein Kanal für die Fahrzeug-Geschwindigkeit verwendet.

Der Schwingbeiwert wurde nicht nur beim Überfahren der Deckenfelder mit möglichst konstanter Geschwindigkeit ermittelt, in den Ergebnissen als "Normalfahrt" bezeichnet, sondern zur Untersuchung bestimmter Einflüsse auch bei "Sonderfahrten", wie

- Normalfahrt mit Deckennutzlast
- Fahrten außerhalb der Hauptspur
- Schnellbremsung auf dem Deckenfeld
- Überfahren einer Riffelstrecke auf dem Deckenfeld
- Überfahren einer einzelnen größeren Unebenheit.

Der Grund für die Sonderfahrten war das Bemühen um verallgemeinerungsfähige Schwingbeiwerte und um eine Abschätzung des in den untersuchten Bauten zu erwartenden mittleren Größtwertes bei ungünstigsten, bereits nicht mehr praxisüblichen Bedingungen.

4. Ermittlung der Schwingbeiwerte

Aufgrund der 4-kanaligen Aufzeichnung auf einem Bildschirm lag nach jeder Fahrt das Meßergebnis in Form eines Fotos vor, in dem die zeitabhängigen Deckendurchbiegungen an den einzelnen Meßstellen zusammengefaßt dargestellt sind. Beispiele mit einer Gegenüberstellung aller interessierenden Meßfahrten und -Besonderheiten sind in Anlage 3 zusammengestellt. Es handelt sich um zur Vereinfachung der Vervielfältigung nachgezeichnete Originalfotos. Aus dem Ordinatenverhältnis der Messung bei schneller und sehr langsamer Fahrt kann - unter Bezug auf die eingeblendete Nulllinie - im allgemeinen der Schwingbeiwert unmittelbar, d.h. ohne Kenntnis der Absolutwerte der Durchbiegung, entnommen werden.

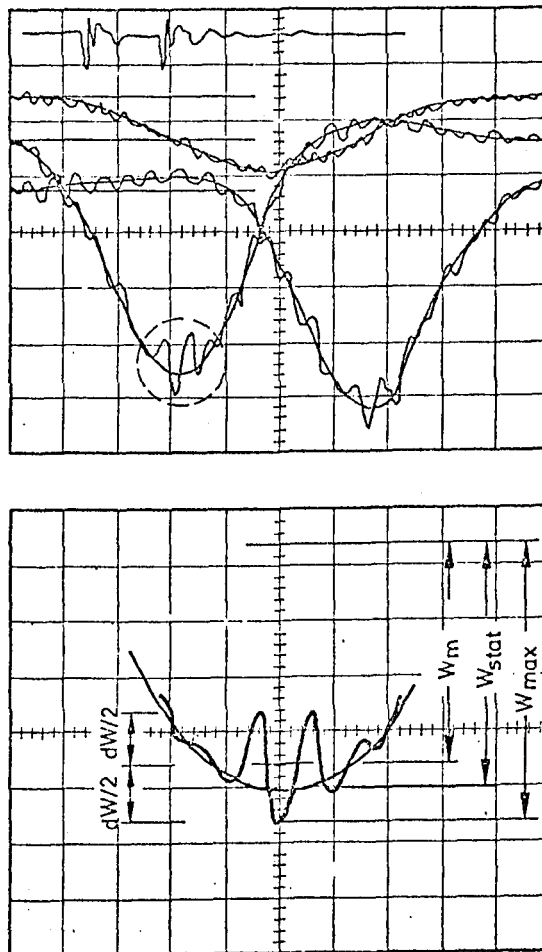


Bild 2: Definition der ausgewerteten Durchbiegungen

Den statischen Biegelinien der dynamisch beanspruchten Decken sind erwartungsgemäß in vielen Fällen Schwingungen überlagert, deren Teilamplituden, positiv (oberhalb des Mittelwertes) und negativ (unterhalb des Mittelwertes) durchaus nicht immer gleichgroß sind. Da sich außerdem die dynamische Biegelinie prinzipiell von der statischen unterscheidet, wenngleich die Unterschiede zahlenmäßig gering sind, lag es nahe, neben dem definierten Schwingbeiwert φ , auch den Schwingbeiwert φ_1 als das Verhältnis von w_{\max} zu w_{mittel} zu bestimmen und hierbei w_{mittel} entweder aus der gemittelten Durchbiegung direkt oder aus dem Spitzenwert w_{\max} und der dem Mittelwert überlagerten Welligkeit dw zu entnehmen. Bild 2 verdeutlicht nochmals die drei definierten Meßwerte w_{\max} , w_{mittel} und dw . Das Beispiel ist - entsprechend den tatsächlichen Verhältnissen in zahlreichen Fällen - so gewählt, daß die Welligkeit nicht symmetrisch zur mittleren Durchbiegung liegt. Um diesen Sachverhalt auch zahlenmäßig kennzeichnen zu können, sind außer den Schwingbeiwerten aus den o.a. Meßwerten drei weitere Beiwerte abgeleitet worden; insgesamt wurden also jeweils 5 Beiwerte ermittelt:

$$\begin{aligned}
 \varphi &= \frac{w_{\max}}{w_{\text{stat}}} \\
 \varphi_1 &= \frac{w_{\max}}{w_{\text{mittel}}} \\
 (13) \quad \varphi_2 &= \frac{w_{\text{mittel}} + \frac{dw}{2}}{w_{\text{mittel}}} = 1 + \frac{\frac{dw}{2}}{w_{\text{mittel}}} \\
 \psi &= \frac{w_{\max} - \frac{dw}{2}}{w_{\text{mittel}}} = 1 + \varphi_1 - \varphi_2 \\
 \rho &= \frac{w_{\text{mittel}}}{w_{\text{stat}}}
 \end{aligned}$$

Die Beiwerte φ_2 und ψ geben Aufschluß über die Teilamplituden der überlagerten Schwingungen (Welligkeiten) - wenn φ_1 ungleich φ_2 oder ψ ungleich 1: sind Ober- und Unteramplitude verschieden groß - während ρ zeigt, ob und inwieweit der interpolierte Mittelwert w_{mittel} von der statischen Durchbiegung w_{stat} abweicht. Es handelt sich bei φ_2 , ψ und ρ also um Hilfsgrößen zur nachträglichen Beurteilung der Meßgrößen aus dem abgeleiteten Zahlenmaterial.

Nach Vorliegen der Oszillografen-Schirmfotos wurden die einzelnen o.a. Durchbiegungswerte - unter Berücksichtigung des Skalenmaßstabes - abgegriffen und protokolliert, Anlage 4, Blatt 1, aus der die Schwingbeiwerte φ_1 , gemessen im Bauwerk 1.5, für die Meßfahrten 1 bis 24 an den Meßstellen 1 und 2 auch ohne Kenntnis der dort angegebenen Empfindlichkeit α errechnet werden können.

Außer w_{\max} wurde jeweils nur eine der Größen w_{mittel} oder dw , je nachdem welche der beiden besser auswertbar war, aus den Bildern entnommen. Die Berechnung der fehlenden Größe wurde dann in Verbindung mit der Ausrechnung von Durchbiegungs-Absolutwerten und Fahrgeschwindigkeit durchgeführt, vgl. Anlage 4, Blatt 2, die für die ersten 10 Meßfahrten die Durchbiegungen an allen drei Meßstellen enthält.

Anlage 4, Blatt 3, gibt ein Beispiel für die Zusammenfassung der Meßwerte einer einzelnen Meßstelle und die für die verschiedenen Versuchsfahrten errechneten Schwingbeiwerte: Sämtliche Messungen wurden in dieser Weise ausgewertet. Aus diesem Beispiel ist u.a. folgendes zu entnehmen:

Meßfahrt 1 - 5: $\varphi_1 = 1$ sowie $\varphi_{1...5} = 1$,
bei w_{mittel} zwischen 0,210 bis 0,222 mm bzw. $\bar{w}_{\text{mittel}} = w_{\text{stat}}$

Meßfahrt 6 - 7: $\varphi_1 \neq \varphi_2$, $\psi = 1$: Oberamplitude = Unteramplitude

Meßfahrt 8: $\varphi_1 \neq \varphi_2$, $\psi > 1$: Oberamplitude < Unteramplitude

Meßfahrt 9: $\varphi_1 \neq \varphi_2$, $\psi < 1$: Oberamplitude > Unteramplitude.

Nach Eingabe der letzten Messung in den Rechner - N Beiwerte - sind für die gesamte Meßreihe - unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit - Mittelwert $\bar{\varphi}$, Standardabweichung s und Vertrauensbereich $\frac{ts}{\sqrt{N}}$ des Mittelwertes - t: Integralgrenze der t-Verteilung für den Freiheitsgrad $N - 1$ - errechnet worden.

Die Ergebnisse dieser "statistischen Auswertung" sind nur unter Vorbehalt weiterzuverwenden, da das Zahlenmaterial wegen der vorhandenen, wenn im allgemeinen auch nur geringen Abhängigkeit von der Geschwindigkeit mit Sicherheit nicht normalverteilt ist und außerdem auch die Verteilung der gefahrenen Geschwindigkeit weder den tatsächlichen (unbekannten) Verhältnissen gerecht wird noch systematisch variiert worden ist.

Insbesondere sind im Mittelwert $\bar{\varphi}$ die Einzelwerte φ_{stat} ($v \leq 5 \text{ km/h}$) ≈ 1 der statischen Deckendurchbiegung und deren Standardabweichungen $s_{\varphi_{\text{stat}}} = \frac{s_{w_{\text{stat}}}}{w_{\text{stat}}}$ enthalten. Entscheidet man sich dafür, Beanspruchungen, die durch Fahrgeschwindigkeiten $v \leq 5 \text{ km/h}$ hervorgerufen werden, grundsätzlich als "statische Beanspruchung" zu betrachten, dann müßten sinnvollerweise Mittelwert und Standardabweichung wie folgt korrigiert werden, um die "dynamischen Beiwerte", Beiwerte durch Beanspruchung von Fahrzeugen mit Fahrgeschwindigkeit über 5 km/h , zu erhalten:

$$\varphi_{\text{dyn}} = \frac{n+m}{m} \cdot \varphi_{\text{ges}} - \frac{n}{m} \quad \text{sowie}$$

$$s_{\varphi_{\text{dyn}}}^2 = \frac{(n+m-1) s_{\bar{\varphi}}^2 - (n-1) s_{\varphi_{\text{stat}}}^2}{m-1} - \frac{m \cdot n}{m-1} \cdot \frac{(\varphi_{\text{dyn}} - 1)^2}{n+m}$$

mit φ_{ges} : errechneter Mittelwert des Schwingbeiwertes,
 $N = m + n$ Fahrten $= \bar{\varphi}$

(14) $\varphi_{\text{stat}} = 1$: Schwingbeiwert für n Fahrten mit $v < 5 \text{ km/h}$

φ_{dyn} : Schwingbeiwert für Fahrten m mit $v > 5 \text{ km/h}$

$s_{\bar{\varphi}}$: Standardabweichung für die $(m+n)$ Fahrten

$s_{\varphi_{\text{stat}}}$: Standardabweichung für n Fahrten mit $v < 5 \text{ km/h}$

$s_{\varphi_{\text{dyn}}}$: Standardabweichung für m Fahrten mit $v > 5 \text{ km/h}$

Das u.a. Beispiel für einen ungünstigen Fall zeigt, daß durch diese Korrektur der Schwingbeiwert erheblich vergrößert wird, bei gleichzeitig verminderter Standardabweichung. Es wird vorgeschlagen, als Schwingbeiwert für die praktischen Anwendungen den Beiwert zu verwenden, der in 95% aller Fälle nicht überschritten wird:

$$\varphi_{95} = \bar{\varphi} + ns,$$

mit $n = 1,645$, der Integralgrenze der Normalverteilung für $\Phi(n) = 0,95$, deren Anwendung voraussetzt, daß der Mittelwert $\bar{\varphi}$ der Stichprobe mit dem Erwartungswert einer normalverteilten Grundgesamtheit übereinstimmt. Wie sich gezeigt hat, wird φ_{95} nur in verhältnismäßig geringem Maße von φ_{stat} beeinflusst:

Messung 672...685: Bauwerk 3.2 - Fahrt mit Gabelstapler
Plattenmitte

$$\begin{array}{llll}
 \bar{\varphi}_{\text{ges}} = 1,048 & s_{\varphi_{\text{ges}}} = 0,069 & N = m + n = 13 & \varphi_{95} = 1,162 \\
 \varphi_{\text{stat}} = 1,000 & s_{\varphi_{\text{stat}}} = 0,021 & n = 8 & \\
 \hline
 \varphi_{\text{dyn}} = 1,125 & s_{\varphi_{\text{dyn}}} = 0,039 & m = 5 & \varphi_{95} = 1,189
 \end{array}$$

Wenn eine deutliche Zunahme des Schwingbeiwertes mit der Fahrgeschwindigkeit vorhanden ist, muß die Angabe eines Mittelwertes über alle Meßfahrten fragwürdig erscheinen. Für die gewählte Art der Auswertung sprach aber, daß die Abhängigkeit durchaus nicht an allen Bauwerken oder an jeder Meßstelle gleichermaßen ausgeprägt war und daß die Fahrgeschwindigkeit bei den Messungen erheblich höher als zulässig und üblich gewesen ist und daher der Mittelwert in etwa auch für das Mittel einer angemessenen Geschwindigkeit gilt.

Als Gesamtergebnis der durchgeführten Untersuchungen werden die Anlagen 5 bis 8 vorgelegt.

In den Tabellen, Anlage 5 bis 7, sind die Schwingbeiwerte für sämtliche untersuchten Bauten und die vorwiegend interessierenden Meßstellen zusammengestellt, dagegen geben die folgenden Anlagen über die Ergebnisse wichtiger Teiluntersuchungen Aufschluß.

Die Tabellen enthalten außer dem Mittelwert des Schwingbeiwertes $\bar{\varphi}$ und der oberen Fraktilengrenze φ_{95} weitere Daten zur Abschätzung der statistischen Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse. Einige wenige Werte mit $\varphi > \bar{\varphi} + 2 s_{\varphi}$ blieben bei der Berechnung der Mittelwerte als Ausreißer unberücksichtigt.

Falls in den Anlagen Schwingbeiwerte über der Fahrgeschwindigkeit aufgetragen werden mußten, sind die Geschwindigkeiten in Klassen von 5 km/h-Klassenbreite eingeteilt und die Beiwerte über der Klassenmitte aufgetragen worden.

5. Meßergebnisse

5.1 Normalfahrt

Die Meßergebnisse nach Anlage 5 können wie folgt zusammengefaßt werden:
Der Mittelwert des Schwingbeiwertes für sämtliche Bauten beträgt $\bar{\psi} = 1,04$,
der Mittelwert des wahrscheinlichen Höchstwertes, der in 95% aller Fälle
nicht überschritten wird $\psi_{95} = 1,14$. In diesen Werten sind alle Fahr-
zeuge, auch Kranwagen und Gabelstapler einbezogen. Für die Gabelstapler
allein ergab sich $\psi = 1,07$ und $\psi_{95} = 1,23$ bzw.
für Kranwagen $\psi = 1,05$ und $\psi_{95} = 1,16$.

Der größere Beiwert der Gabelstapler und Kranwagen ist nicht durch deren
Gewicht bedingt. Vermutlich verursachen die kaum gefederten und vollgummi-
bereiften Gabelstapler infolge nicht ausgewuchteter Massenkräfte größere
Schwingbeiwerte als die Kranwagen.

Es besteht eine Geschwindigkeitsabhängigkeit für den Schwingbeiwert.

Die Regressionsgerade $\psi = 1 + 0,00125 \frac{v}{\text{km/h}}$ gibt den mittleren Verlauf durch
die in Anlage 8 dargestellte Gesamtheit aller Meßfahrten mit dem Versuchs-
fahrzeug wieder. Der Mittelwert $\bar{\psi}$ entspricht einer Geschwindigkeit von
28 km/h.

Untersuchungen an einem einzelnen Bauwerk ergaben eine geringere Geschwindig-
keitsabhängigkeit $\psi = 1 + 0,0016 \frac{v}{\text{km/h}}$, jedoch entsprach der Schwingbeiwert
der Einzelfahrten $\psi_1 = 1 + 0,00125 \frac{v}{\text{km/h}}$ genau der o.a. Abhängigkeit. Da grund-
sätzlich die Vergleichsstreuung größer ist als die Wiederholstreuung, kommt der
Geschwindigkeitseinfluß aus den Meßfahrten in einem einzelnen Bauwerk natur-
gemäß klarer zum Ausdruck als aus der Summe aller Ergebnisse, vgl. Anlage 9 und
10.

In einzelnen Fällen nimmt die mittlere Deckendurchbiegung mit wachsender
Fahrgeschwindigkeit ab, vgl. Anlage 11, was zu Schwingbeiwerten $\psi < 1$ führen
kann. Dieser Sachverhalt tritt - abgesehen von Spurabweichungen: Fahrspur

bei schnellen Fahrten systematisch anders als bei langsamer Fahrt - beim schnellen Überfahren von biegeweichen Konstruktionen auf, z.B. bei großflächigen Parkdecks. Es gibt verschiedene Vermutungen zur Erklärung des Effekts, jedoch war eine genauere Untersuchung der Ursache im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht möglich.

Der Schwingbeiwert hängt im Mittel weder vom Ort der Belastung noch vom Ort der Messung ab. Abweichungen von der Fahrspur (= ausmittiges Befahren der Deckenfelder) führen also nicht zu anderen Schwingbeiwerten. Wegen der Streuung von w_{mittel} empfiehlt es sich zur Beurteilung den Beiwert φ_1 anstelle von φ zu verwenden, vgl. Anlagen 12 und 13.

Der Einfluß der Nutzlast auf den Schwingbeiwert ist erwartungsgemäß gering, jedoch deutlich nachweisbar, vgl. Anlage 14. Insbesondere scheint die Zunahme des Schwingbeiwertes von der Fahrgeschwindigkeit unabhängig zu sein.

Ein statisch gesicherter Einfluß des statischen Systems auf den Schwingbeiwert - in Form eines gesetzmäßigen Zusammenhanges zwischen φ und w_{stat} - konnte nicht festgestellt werden. Der Steifigkeitsbereich der Deckenfelder erstreckte sich in den untersuchten Bauten von 2,21 bis 106,67 Mp/cm; die Eigenfrequenzen lagen zwischen 6 und 40 Hz.

Schwere, weniger gefederte Nutzfahrzeuge, wie Kranwagen und Gabelstapler, erzeugen beim Überfahren von Deckenfeldern mit nahezu konstanter Geschwindigkeit erheblich größere dynamische Beanspruchungen als Klein-Transporter bzw. PKWs, vgl. Anlage 15. Mit Beiwerten bis $\varphi \sim 1,15$ ist zu rechnen; eine gesetzmäßige Geschwindigkeitsabhängigkeit ist nicht erkennbar.

5.2 Schnellstop

Die erzwungene Schnellbremsung ist ein unbedingt zu beachtender Lastfall mit allerdings seltener Eintrittswahrscheinlichkeit. Bei den Untersuchungen wurden die Fahrzeuge aus der jeweiligen Geschwindigkeit so abgebremst, daß sie in Feldmitte zum Stillstand kamen und der Bremsweg möglichst nicht länger als die Stützweiten eines Feldes war, d.b. eine maximale Bremsverzögerung von $20 \text{ m/s}^2 \approx 2 \text{ g}$. Im Mittel ergab sich bei Schnellstop: $\bar{\varphi} = 1,120$ und $\varphi_{95} = 1,251$, siehe Anlage 6, und zwar für alle Fahrzeuge: eine Differenzierung nach Fahrzeugtypen ist nicht erforderlich. Die in Anlage 6 dargestellte Abhängigkeit des

Schwingbeiwertes von der Fahrgeschwindigkeit vor dem Schnellstop ist vermutlich in gewissem Umfang auf Abfederung und Masse des Fahrzeug-Aufbaus zurückzuführen.

5.3 Überfahren einer größeren Unebenheit

Der Lastfall "Überfahren einer größeren Unebenheit" kann wirklichkeitsnah beim Überrollen eines Steines oder eines Gullys eintreten. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurde auch die Deckendurchbiegung beim Überfahren einer 22 cm langen und 6 cm hohen keilförmigen Schwelle - das entspricht der Hälfte einer Feuerwehr-Schlauchbrücke - ermittelt, um den im Extremfall auftretenden Schwingbeiwert abschätzen zu können. Die Ergebnisse sind in Anlage 7 aufgeführt und der bei den Messungen beobachtete Wertebereich in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit in Anlage 17 dargestellt, wobei auf die Angabe von Mittelwerten wegen der vor allem bei hohen Geschwindigkeiten vorhandenen großen Schwankungsbreite des Schwingbeiwertes verzichtet wurde. In Anlage 7 entspricht der Höchstwert des Schwingbeiwertes φ_{\max} für die einzelnen Meßstellen näherungsweise jeweils dem Schwingbeiwert für die Höchstgeschwindigkeiten.

Grundsätzlich läßt sich aus Anlage 17 ablesen, daß bis zu Fahrgeschwindigkeiten von 15 km/h die Beiwerte nicht größer sind als die für "Schnellstop" beliebiger Fahrzeuge, jedoch ab 15 bis 35 km/h ein steiler Anstieg - ausgehend von $\varphi = 1,2$ - um rund 0,4 pro 10 km/h erfolgt.

5.4 Überfahren kleinerer, aber periodischer Unebenheiten

Wie bereits aus dem Beiwert $\varphi \sim \frac{1}{1 - \omega/\omega_0}$ für eine mit konstanter Geschwindigkeit über einen Träger wandernde Kraft ersichtlich ist, tritt für $\omega \rightarrow \omega_0$ ein Resonanzeffekt ein; bei Vernachlässigung der Dämpfung: $\varphi \rightarrow \infty$. Dieser Fall wird wegen der erforderlichen hohen Fahrgeschwindigkeit kaum erreicht, es sei denn, daß "Oberschwingungen" der Fahrfrequenz auftreten, z.B. wenn die Stützweite 1 äquidistant unterteilt ist. Ursachen hierfür könnten sein

- kleinflächige, durch Trennfugen abgeteilte Estrichplatten auf den obersten Parkdecks von Parkhäusern
- durch Schnellbremsung zusammengeschobene Wellen des Gußasphaltbelags im Deckenfeld vor den Ausfahrten in den einzelnen Geschossen von Parkhäusern
- Welligkeit im Verschleißbeton durch zu geringe Betondeckung der Bewehrung
- Radunwuchten

Zur Bestätigung dieses Sachverhaltes wurden künstliche Riffelstrecken aus einzelnen, am Ende leiterartig verbundenen Bewehrungsstählen StIIIb, Stabdurchmesser 16 mm, auf der Fahrbahn verlegt. Der Stababstand war in Abhängigkeit von der gemessenen Eigenfrequenz so gewählt worden, daß bei einer mittleren Geschwindigkeit der o.a. Effekt eintreten mußte.

Die Meßergebnisse bestätigten die Erwartungen insofern, als bei der doppelten Wellenlänge der erwartete Effekt auftrat, nicht dagegen bei der einfachen Wellenlänge, wo vermutlich der zu enge Stababstand bereits die Berührung des Rades mit dem Boden verhinderte, vgl. Anlage 18. Es wurden Beiwerte bis $\psi = 1,45$ erreicht, also noch größere als bei Schnellstop. Insbesondere wurde bei Fahrgeschwindigkeit oberhalb der Resonanzspitze wiederum eine Abnahme des Beiwertes bis auf den Schwingbeiwert für Normalfahrt bei gleicher Geschwindigkeit festgestellt.

5.5 Stochastischer Anteil des Schwingbeiwertes

Unter der Voraussetzung eines stationären stochastischen Prozesses kann der stochastische Anteil des Schwingbeiwertes gemäß Gleichung (12) aus der Standardabweichung des Mittelwertes der dynamischen Durchbiegung ermittelt werden, die - Ergodizität vorausgesetzt - dem Effektivwert der Durchbiegung entspricht.

Am Bauwerk 1.5 wurde durch Messung des spektralen Effektivwerts für eine mittlere Geschwindigkeit von 25 km/h versucht, den stochastischen Beiwert zu bestimmen, vgl. Anlage 19.

Aufgrund des aus 40 Meßfahrten bestimmten Effektivwerts der Durchbiegung im Frequenzbereich 2 bis 40 Hz:

$w_{\text{eff}} = 0,016 \text{ mm}$ bzw. $\psi_{\text{eff}} = \frac{w_{\text{eff}}}{w_{\text{stat}}} = 0,078$ würden sich folgende Beiwerte ergeben, die erheblich größer als die aus Einzelfahrten ermittelten sind.

Beobachtungsdauer T	$g(\psi, T)$	φ_{sto} + φ_{det} = φ_{ges}
60 s = 1 min	3,212	0,250 + 1,040 = 1,29
1200 s = 20 min	4,037	0,314 + 1,040 = 1,35
36000 s = 10 Std.	4,805	0,373 + 1,040 = 1,41

Die angegebenen willkürlichen Beobachtungsdauern setzen einen eingeschwungenen Zustand des Deckenfeldes voraus, mithin eine Fahrzeugdichte von etwa 5 Fahrzeugen pro s.

Die spektrale Dichte nach Anlage 19 liegt an der unteren Grenze der in /10/ ausgewerteten Fahrbahnen, was jedoch aufgrund der kleinen Prüflänge und naturgemäß kleinen Welligkeit der Betonoberfläche verständlich ist. Die beiden spektralen Maxima sind auf die Deckeneigenfrequenz und vermutlich auf die Fugeneinteilung des Fahrbahnbelags zurückzuführen.

5.6 Allgemeine Ergebnisse

Von den weiteren Einzelergebnissen sind noch folgende bemerkenswert:

1. In mehrgeschossigen Parkhäusern, Parkdecks usw. beträgt die Durchbiegung des unter der befahrenen Decke liegenden Deckenfeldes weniger als 3‰ des befahrenen Deckenfeldes, ähnliches gilt für benachbarte Felder.
2. Wird ein Deckenfeld gleichzeitig von zwei Fahrzeugen nebeneinander oder hintereinander mit konstanter Geschwindigkeit befahren, ergibt sich kein größerer Schwingbeiwert als bei Normalfahrt eines einzelnen Fahrzeuges.

6. Zusammenfassung

Der Schwingbeiwert $\varphi = \frac{w_{\max}}{w_{\text{stat}}}$ wurde an fünf Parkanlagen, drei Hofkellerdecken und drei Industriebauten durch Messungen ermittelt. Die Größe w_{stat} wurde aus der Deckendurchbiegung für Fahrgeschwindigkeiten unter 5 km/h $\sim 1,4$ m/s ermittelt. Das bedeutet, daß der Begriff der DIN 1055, Blatt 3, "Vorwiegend ruhende Belastungen" für den Fahrverkehr mit konstanter Geschwindigkeit präzisiert und abgegrenzt wurde: Für Geschwindigkeiten unter 5 km/h sind dieselben statischen Verformungen, mithin dieselben Schnittkräfte zu erwarten wie bei exakt "statischer Belastung".

Zur Vereinheitlichung der Aussage wurden die Messungen mit einem einzigen Meßfahrzeug, einem VW-Transporter durchgeführt. Die Deckenfelder wurden vorzugsweise mit möglichst konstanter Geschwindigkeit befahren. Die maximal zu erwartenden Beiwerte wurden anhand spezieller Beanspruchungen wie Schnellstop, Unebenheiten und Riffelstrecken abgeschätzt.

Gibt man als praxisbezogenen Beiwert denjenigen Schwingbeiwert an, der in 95% aller Fälle nicht überschritten wird, so ergibt sich

bei Normalfahrt von PKWs u.ä. Fahrzeugen	$\varphi_{95} = 1,15$
bei Normalfahrt von Sonderfahrzeugen, wie Gabelstaplern und Kranwagen	$\varphi_{95} \leq 1,25$
bei Schnellstop beliebiger Fahrzeuge	$\varphi_{95} \leq 1,25$
in seltenen Extremsituationen, wie Befahren periodischer kleiner oder einzelner größerer Unebenheiten	$\varphi_{95} \leq 2,00$

Die Untersuchungsergebnisse eröffnen die Möglichkeit, in Zukunft die dynamische Belastung in Bauten mit Fahrverkehr durch eine abgestufte Bemessung zu berücksichtigen. Durch die Untersuchungsergebnisse wird folgendes Bemessungsverfahren nahegelegt.

1. Bis $v = 20$ km/h darf ein Beiwert $\varphi = 1,1$ gewählt werden, sofern die Decken vorwiegend mit konstanter Geschwindigkeit befahren werden.
2. Bis $v = 40$ km/h (=Erfahrungsbereich der durchgeführten Untersuchungen) sowie Beschleunigungen oder Verzögerungen ≤ 2 g darf ein Beiwert in einer von den zuständigen Gremien noch festzulegenden Abhängigkeit von
 - Geschwindigkeit
 - Deckeneigenfrequenz
 - Belastungsgradgewählt werden.

3. Bei $a > 2 \text{ g}$ oder $v > 40 \text{ km/h}$ ist entweder der bisher eingeführte pauschale Beiwert $\psi = 1,4$ zu verwenden oder - in Erwartung der definierten Extremsituationen - ein genauerer dynamischer Nachweis zu führen. Für einen Nachweis kommen insbesondere Gebäude in Frage, bei denen mit einer nichtebenen Bodenbeschaffenheit oder größeren vertikalen dynamischen Lasten (Gabelstaplerbetrieb) gerechnet werden muß.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- 1 Timoshenko, S.: Schwingungsprobleme der Technik.
Springer - Berlin 1932.
- 2 Kaczokoski, Z.: Inst. Schwingungen eines Brückenbalkens
unter der Wirkung der verschiebbaren
Belastungen.
- 3 Laasonen, P.: Über den dyn. Belastungsfaktor.
- 4 Yoshida, D. M.: Dynamic Response of Beams and Plates to
Moving Loads.
Diss. Stanford Univ. 1970.
- 5 König, G. und Zilch, K.: Ein Beitrag zur Berechnung von Bauwerken im
böigen Wind.
Verlag Wilhelm Ernst & Sohn - Berlin - München
- Düsseldorf 1970.
- 6 Koloušek, V.: Dynamik der Baukonstruktionen.
VEB Verlag für Bauwesen - Berlin 1962.
- 7 Zilch, K. und Weißgerber, V.: Zur Formulierung eines Schwingbeiwertes.
Bericht des Lehrstuhls für Massivbau der
TH Darmstadt. - Dort weitere Literatur.
- 8 Robson, J. D.: An Introduction to Random Vibration.
Edinburgh University Press 1963.
- 9 Biggs, J. N.: Introduction to Structural Dynamics.
Graw-Hill - New York 1964.
- 10 Braun, H.: Untersuchungen von Fahrbahnunebenheiten und
Anwendung deren Ergebnisse.
Diss. TU Braunschweig 1969.

A N H A N G

Systembeschreibung, Fotobeilagen

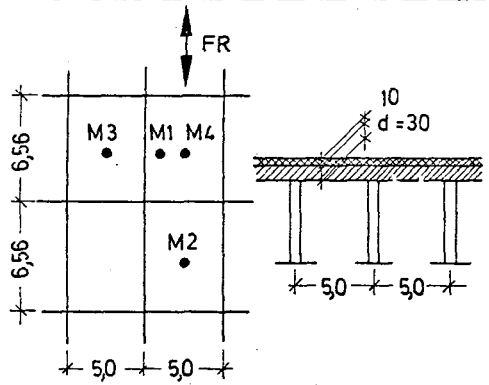
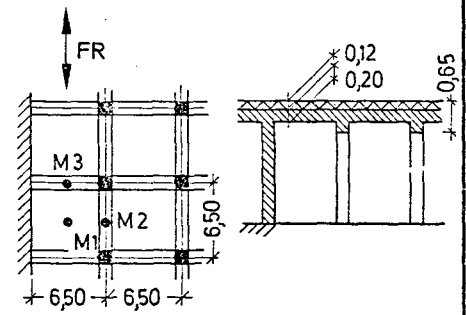
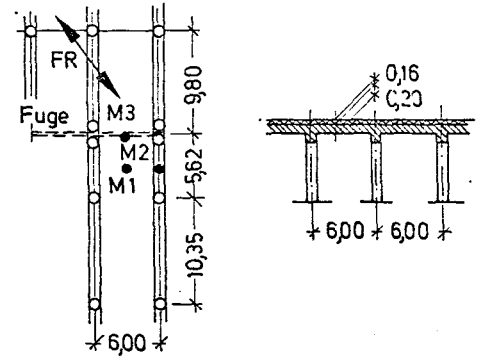
Meßbeispiele und Auswertebeispiel

Meßergebnisse:

Tabellen und Diagramme

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	SYSTEMBESCHREIBUNG				Abmessungen	Bemerkg.
		allgemein	Deckenkonstr.	Fahrbahnbelag	Systemskizze mit Meßstellen Grundriß Schnitt		
1.1	Parkgarage ¹⁾ (PD) der Stadthalle in Braunschweig (1965) ¹⁾ mit Hubschrauber- Landeplatz	1 geschossige Stahlbetonkonstr.	Röhbaudecke mit versteckten Unter- zügen B 300	6 cm Bitumen- asphalt		$l_x = 8,00 \text{ m}$ $l_y = \infty$ $d = *$ $d_0 = 0,53 \text{ m}$ $b = *$ $b_0 = *$ $h = *$	* DATEN nicht vor- handen
1.2	Parkdeck (PD) am Wellenbad in Altenau (Harz) (1972)	2 geschossige Fertigteilkonstr. aus Stahlbeton	FT-Trogdecke, in den Ecken unter- stützt B 300	ca. 4 cm Guss- asphalt + Abdichtung		$l_x = 7,50 \text{ m}$ $l_y = 2,73 \text{ m}$ $i.M. d = 0,360 \text{ m}$ $i.M. d_0 = 0,125 \text{ m}$ $b = 2,735 \text{ m}$ $b_0 = *$ $h = *$	
1.3	Parkpalette (PD) Wolfsburg (1968)	2 geschossige Stahlbetonkonstr.	Kaiserdeckenplatte über Rahmen durchlaufend	6÷8 cm Decken- belag		$l_x = 10,60 \text{ m}$ $l_y = 5,00 \text{ m}$ $d = 0,04 + 0,13$ $d_0 = 0,50 \text{ m}$ $b = *$ $b_0 = 0,40 \text{ m}$ $h = 2,75 \text{ m}$	Anlage 1 - Blatt 1 -

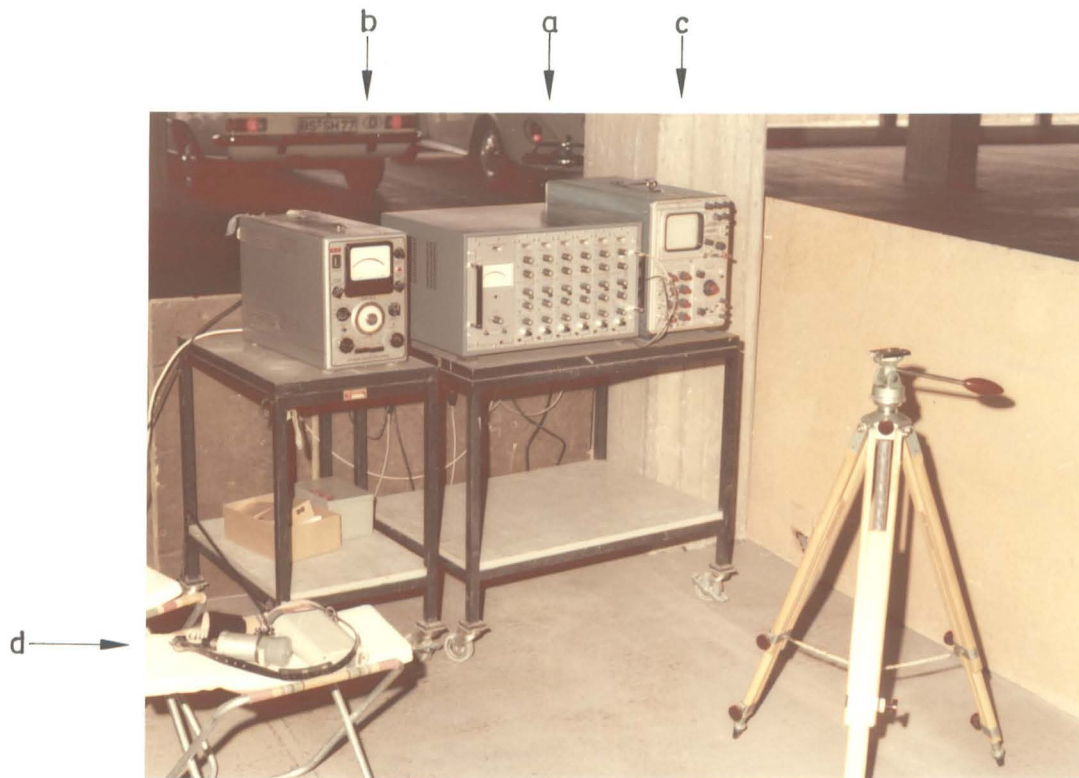
Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	SYSTEMBESCHREIBUNG				Abmessungen	Bemerkg.
		allgemein	Deckenkonstr.	Fahrbahnbelag	Systemskizze mit Meßstellen Grundriß Schnitt		
1.4	Parkdeck (PD) med. Hochschule (1969)	1 geschossige Stahlbeton - Spannbeton - Konstruktion	Ortbetonplatte über Fertigteil - Spann - betonträger durch- laufend B 450	2,5cm Asphalt 2,5cm Asphalt 1,0cm Mastix 8,0cm Perlite-Auf- beton		$l_x = 7,00; 11,00 \text{ m}$ $l_y = 17,50 \text{ m}$ $d = 1,21 \div 1,35 \text{ m}$ $d_o = 0,15 \text{ m}$ $b = 3,00 \text{ m}$ $b_o = 0,25 \text{ m}$ $h \approx 4,00 \text{ m}$	
1.5	Parkhaus (PH) Wilhelmstraße in Braunschweig (1969)	6 geschossige Stahlbetonkonstr.	Stahlbetonplatten- streifen durchlaufend auf Unterzüge auf- gelagert auf dem Dachdeck B 300	7 cm Estrich 3 cm Wärme- dämmung		$l_x = 7,50 \text{ m}$ $l_y = \infty$ $d = 0,22 \text{ m}$ $d_o = 0,80 \text{ m}$ $b = *$ $b_o = 0,50 \text{ m}$ $h_s = 2,50 \text{ m}$	

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	SYSTEMBESCHREIBUNG				Abmessungen	Bemerkg.
		allgemein	Deckenkonstr.	Fahrbahnbelag	Systemskizze mit Meßstellen Grundriß Schnitt		
2.1	Fahrzeughalle (HKD) der Feuerwache in Braunschweig (1954)	Mischbauweise Keller in Stahl- beton	durchlaufende vier- seitig gelagerte Platten B 300	10 cm Aufbeton + Belag		$l_x = 5,00 \text{ m}$ $l_y = 6,56 \text{ m}$ $d = 0,30 \text{ m}$ $d_o = *$ $b = *$ $b_o = *$ $h = *$	
2.2	Hofkellerdecke (HKD) ÜZH Helmstedt (1956)	1 geschossige Stahlbetonkonstr.	durchlaufende vier- seitig auf Unter- zügen gelagerte Platten B 300	2 cm Isolierung 10 cm bew. Auf- beton		$l_x = 6,50 \text{ m}$ $l_y = 6,50 \text{ m}$ $d = 0,20 \text{ m}$ $d_o = 0,65 \text{ m}$ $b = *$ $b_o = 0,35 \text{ m}$ $h_s = 3,00 \text{ m}$	
2.3	Hofkellerdecke Fa. Götz Dekoration Hamburg (1968)	1 geschossige Stahlbetonkonstr.	über Unterzüge durchlaufender Plattenstreifen B 300	4 cm 2 Lagen Pappe 10 cm Aufbeton		$l_x = 6,00 \text{ m}$ $l_y = \infty$ $d = 0,20 \text{ m}$ $d_o = 0,60 \text{ m}$ $b = *$ $b_o = 0,40 \text{ m}$ $h = *$	Anlage 1 - Blatt 3 -

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	SYSTEMBESCHREIBUNG				Abmessungen	Bemerkg.
		allgemein	Deckenkonstr.	Fahrbahnbelag	Systemskizze mit Meßstellen Grundriß Schnitt		
3.1	Montagehalle des VW Werks Werk Salzgitter (1971)	2 geschossige Stahlbetonkonstr. mit aufg. Stahl- halle	über Unterzüge durchlaufende Plat- tenbalkenkonstr. B 300	6 cm Ausgleichs- estrich 15 ÷ 20 mm Korodur- Hartbeton		$l_x = 8,00 \text{ m}$ $l_y = 6,00 \text{ m}$ $d = 0,20 \text{ m}$ $d_o = 1,00 \text{ m}$ $b = 2,00 \text{ m}$ $b_o = 0,40 \text{ m}$ $h = 5,15 \text{ m}$	
3.2	Sichtgebäude der Lehrte Zucker AG Werk Lehrte (1970)	5 geschossige Stahlbetonkonstr.	1.) 4.OG (15m ü.OKG) vierseitig auf Un- terzügen gelagerte Stahlbetonplatte	3 cm Zement- estrich		$l_x = 4,50 \text{ m}$ $l_y = 5,50 \text{ m}$ $d = 0,25 \text{ m}$ $d_o = 0,70 \text{ m}$ $b = *$ $b_o = 0,50 \text{ m}$ $h = 4,50 \text{ m}$	
			2.) 2.OG (8m ü.OKG) durchlaufende vierseitig gelagerte Stahlbetonplatten B 300	3 cm Zement- estrich		$l_x = 5,25 \text{ m}$ $l_y = 6,00 \text{ m}$ $d = 0,25 \text{ m}$ $d_o = 0,70 \text{ m}$ $b = *$ $b_o = 0,50 \text{ m}$ $h = 4,20 \text{ m}$	

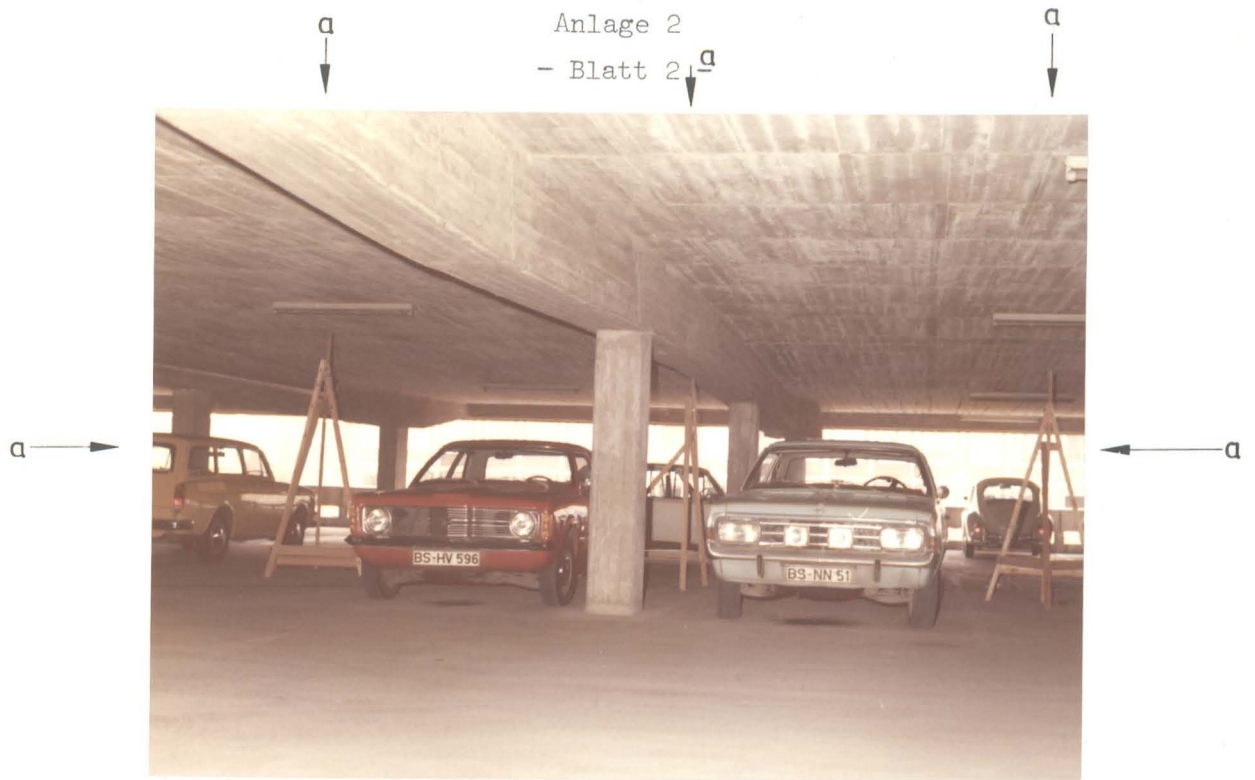
Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	SYSTEMBESCHREIBUNG				Abmessungen	Bemerkg.
		allgemein	Deckenkonstr.	Fahrbahnbelag	Systemskizze mit Meßstellen Grundriß Schnitt		
3.3	Montagehalle des VW Werks Werk Emden (1972)	2 geschossige Stahlbetonkonstr. mit aufg. Stahl- halle	über Unterzüge durchlaufende Plat- tenbalkenkonstr. B 300	20mm Latexfalt		$l_x = 6,00\text{m}$ $l_y = 2,00\text{m}$ $d = 0,75\text{m}$ $d_o = 0,15\text{m}$ $b = 2,00\text{m}$ $b_o = 0,40\text{m}$ $h = 3,40\text{m}$	

Anlage 2
- Blatt 1 -



Meßanordnung

- a: 6-Kanal-Meßverstärker "HBM KWS 6 A-5"
zur induktiven Messung der Durchbiegungen
- b: Meßverstärker "HBM KWS II - 5"
zur Geschwindigkeitsmessung
- c: 4-Kanal-Speicheroszillograf "Tektronix 564 B"
zur Registrierung von Durchbiegung und Geschwindigkeit
- d: Funksprechgerät "Telefunken-Teleport"
zur Verständigung zwischen Fahr- und Meßpersonal
oberhalb bzw. unterhalb der Prüfdecke



Meßstellen im Bauwerk 1.5

a: induktive Wegaufnehmer befestigt am ausfahrbaren Mast der Dreibein-Stativ



Aufstellung der Fahrzeuge für Fahrten mit Nutzlast im Bauwerk 1.5

- a: Druckschlauch zur Geschwindigkeitsmessung
- b: Fugenanordnung im Fahrbahnbelag
- c: "Unebenheitsstelle" durch Dachgully

Anlage 2
- Blatt 3 -



Versuchsfahrt mit 2 Fahrzeugen

a: vorwiegend verwendetes Versuchsfahrzeug: VW-Transporter

b: Markierung der Hauptspur



Werkstraße im Bauwerk 3.3

a: Druckschlauch zur Geschwindigkeitsmessung

b: Dehnfuge

c: größere Nutzlasten

Anlage 2

*Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
der Technischen Hochschule Braunschweig*



Gabelstapler 8,240 kp



Kranwagen 17,750 kp

- Versuchsfahrzeuge -

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
der Technischen Hochschule Braunschweig

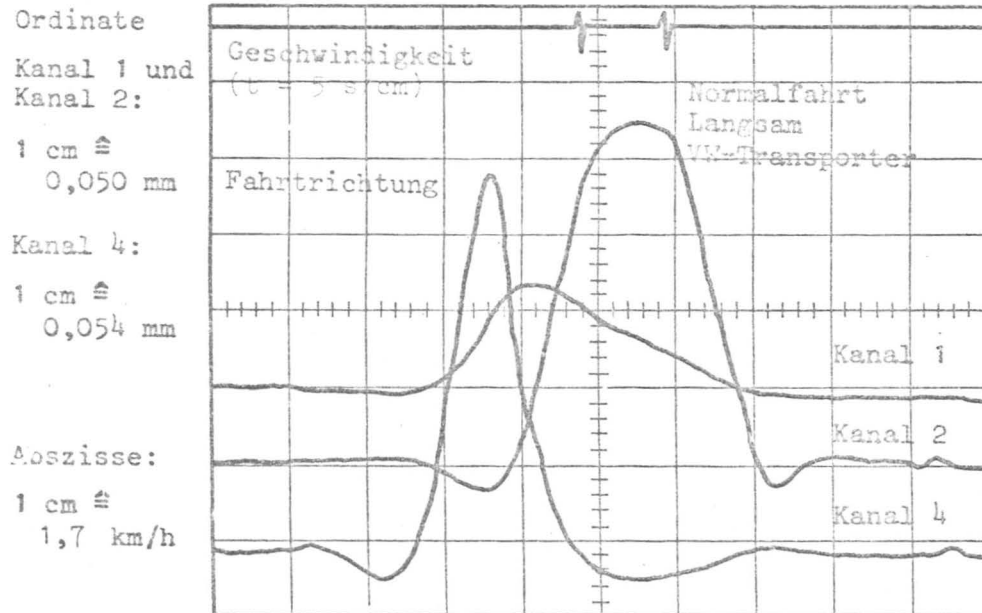
Anlage 2

Anlage 3
- Blatt 1 -

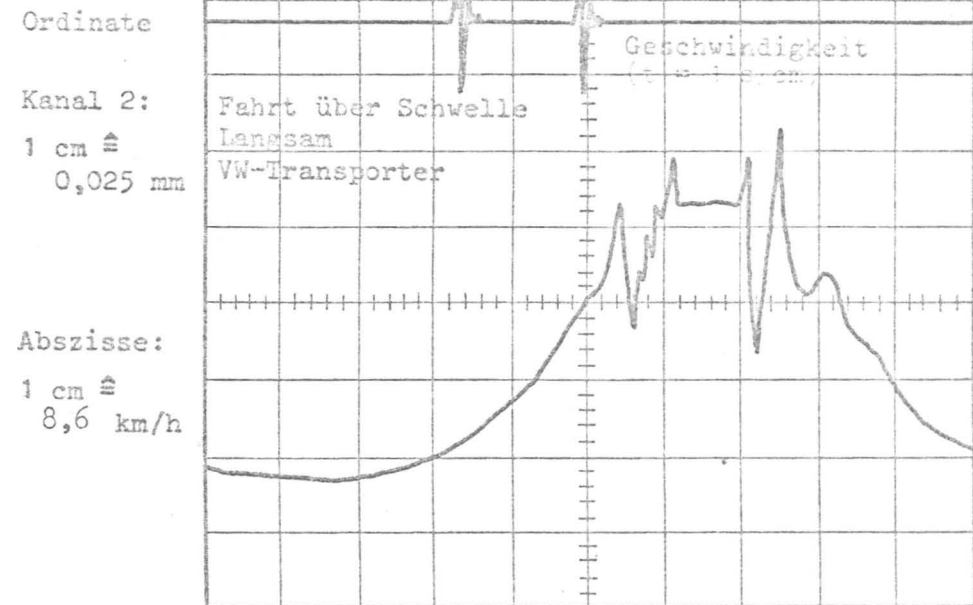
M E S S B E I S P I E L E

Blatt	Bild	Bauwerk	Fahrzeug	Fahrt	Geschwindigkeit
2	links, oben	1.5	Transporter	v = konst	langsam
	links, unten	1.5	"	v = konst	schnell
	rechts, oben	1.5	"	Schwelle	langsam
	rechts, unten	1.5	"	Schnellstop	langsam
3	links, oben	1.4	Transporter	v = konst	schnell
	links, unten	1.4	"	v = konst	langsam
	rechts, oben	1.4	"	Schwelle	mittel
	rechts, unten	1.4	"	Schnellstop	langsam
4	links, oben	1.3	Transporter	v = konst	schnell
	links, unten	1.3	"	v = konst	langsam
	rechts, oben	3.2	Gabelstapler	v = konst	langsam
	rechts, unten	3.2	"	v = konst	schnell
5	links, oben	2.2	Transporter	v = konst	langsam
	links, unten	2.2	"	v = konst	schnell
	rechts, oben	2.2	"	Riffelstrecke	schnell
	rechts, unten	2.2	"	Schnellstop	schnell
6	links, oben	3.1	Transporter	v = konst	langsam
	links, unten	3.1	"	v = konst	schnell
	rechts, oben	3.1	Kranwagen	v = konst	langsam
	rechts, unten	3.1	"	v = konst	schnell
7	links, oben	3.3	Transporter	v = konst	langsam
	links, unten	3.3	"	v = konst	schnell
	rechts, oben	3.3	Kranwagen	v = konst	langsam
	rechts, unten	3.3	"	v = konst	schnell

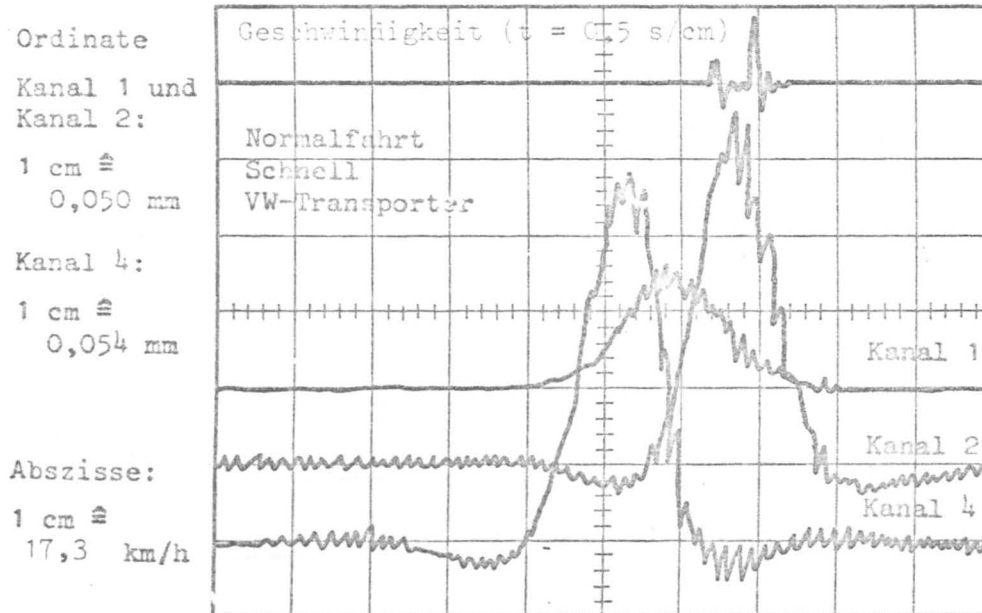
Meßobjekt: PH Wilhelmstraße BS



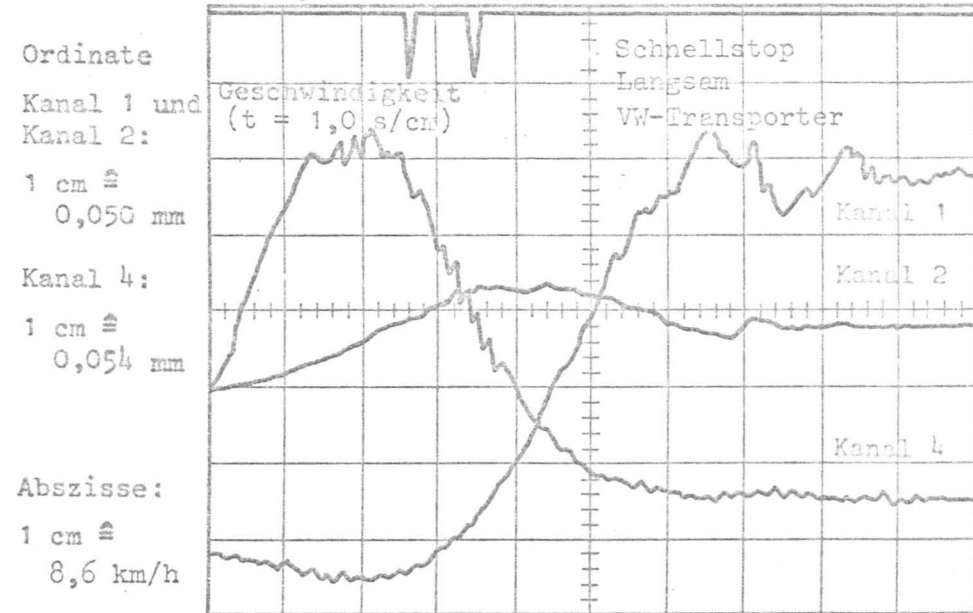
Meßobjekt: PH Wilhelmstraße BS



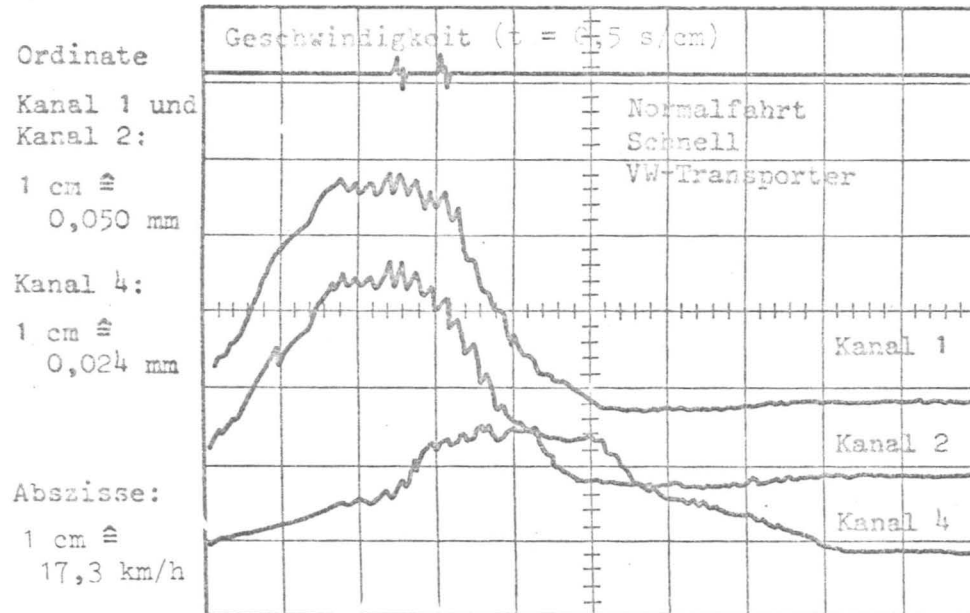
Meßobjekt: PH Wilhelmstraße BS



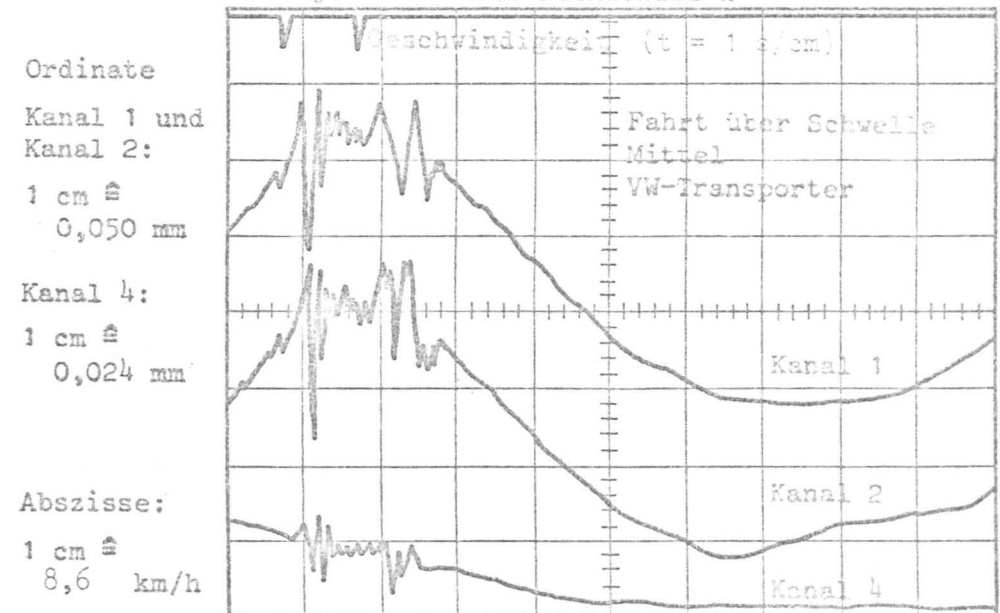
Meßobjekt: PH Wilhelmstraße BS



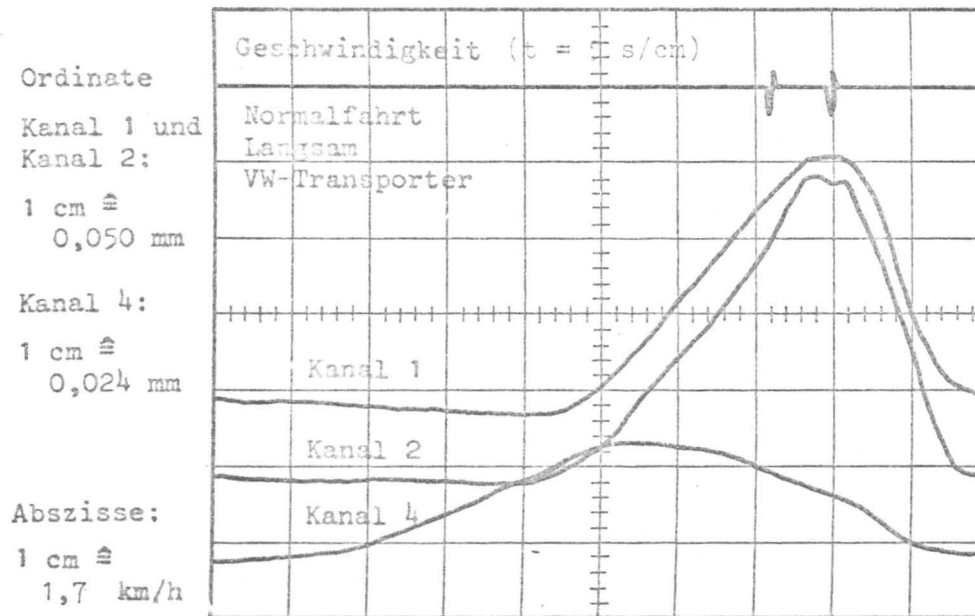
Meßobjekt: PD Med. Hochschule H



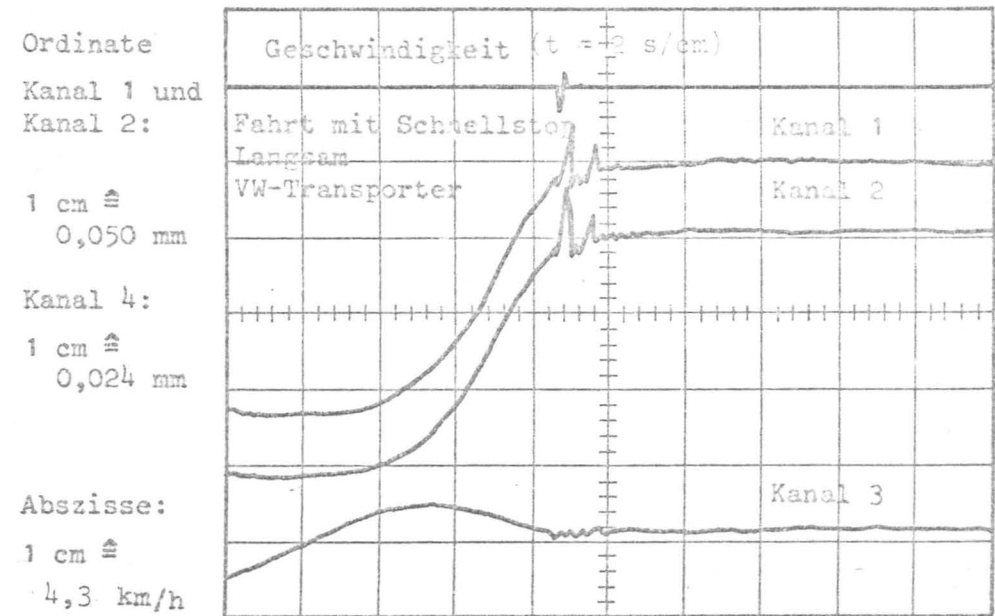
Meßobjekt: PD Med. Hochschule H



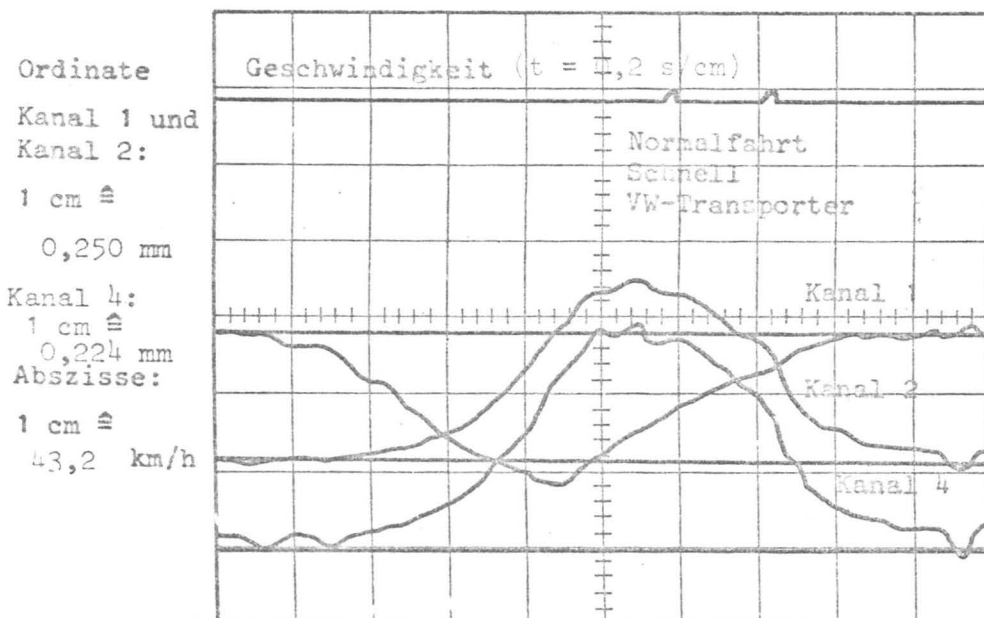
Meßobjekt: PD Med. Hochschule H



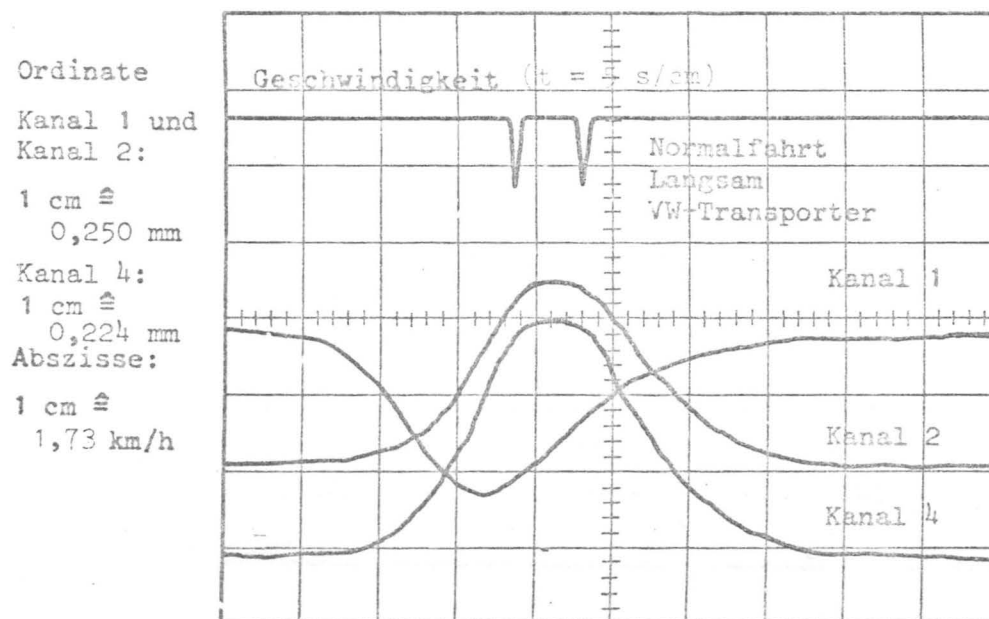
Meßobjekt: PD Med. Hochschule H



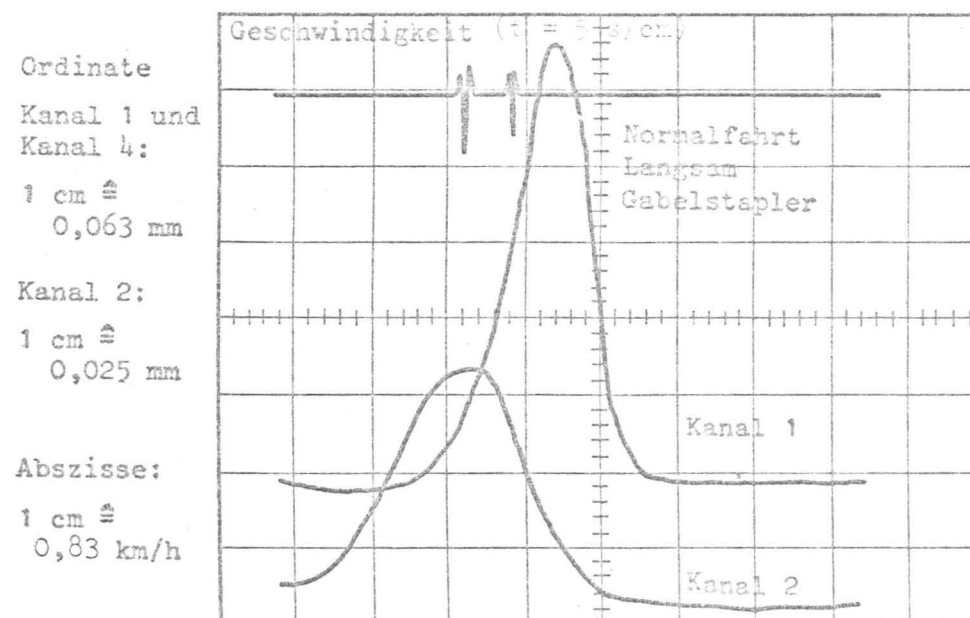
Meßobjekt: PP Wolfsburg WOB



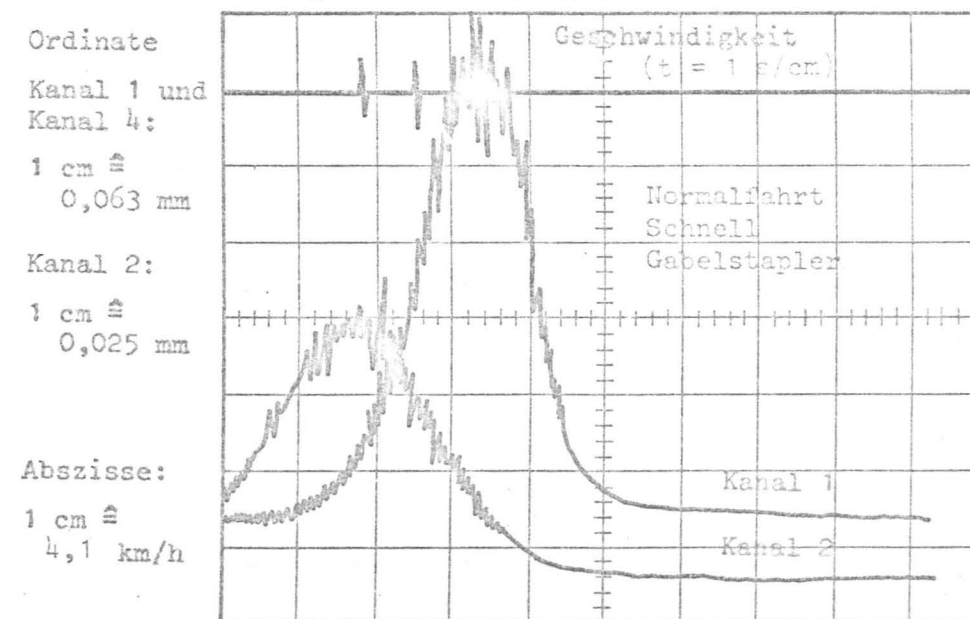
Meßobjekt: PP Wolfsburg WOB



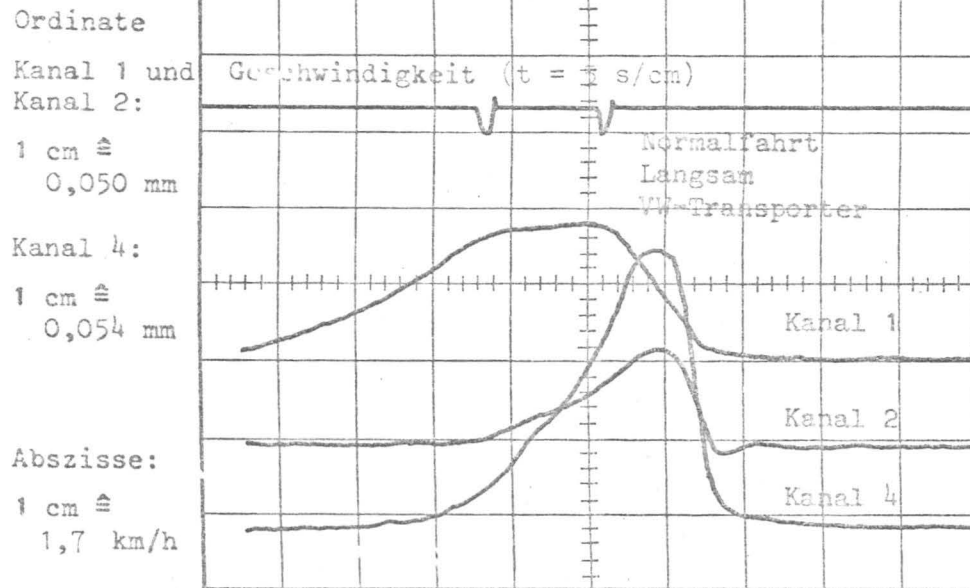
Meßobjekt: Bühne Zuckerf. Lehrte



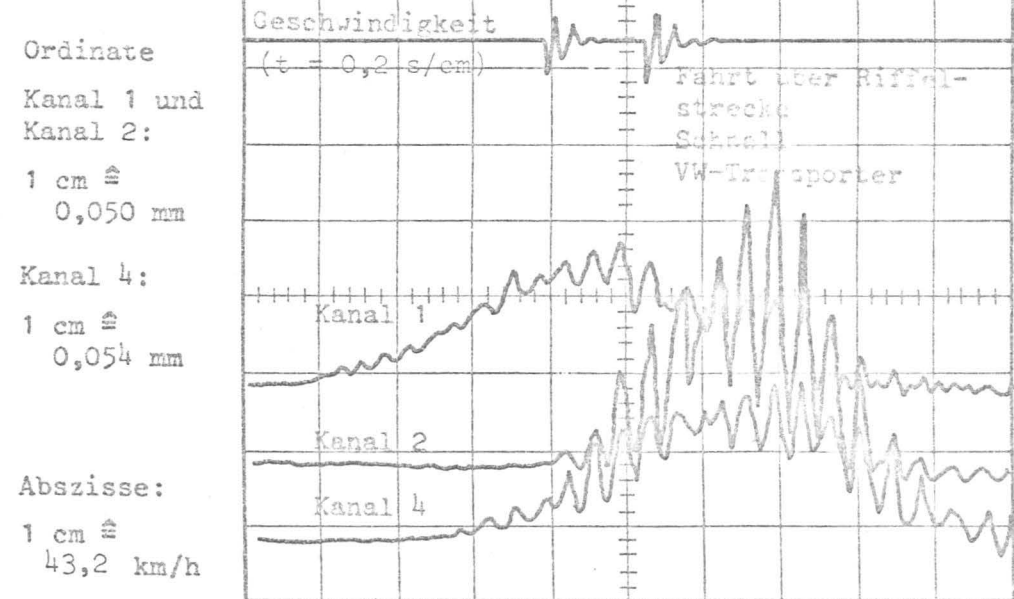
Meßobjekt: Bühne Zuckerf. Lehrte



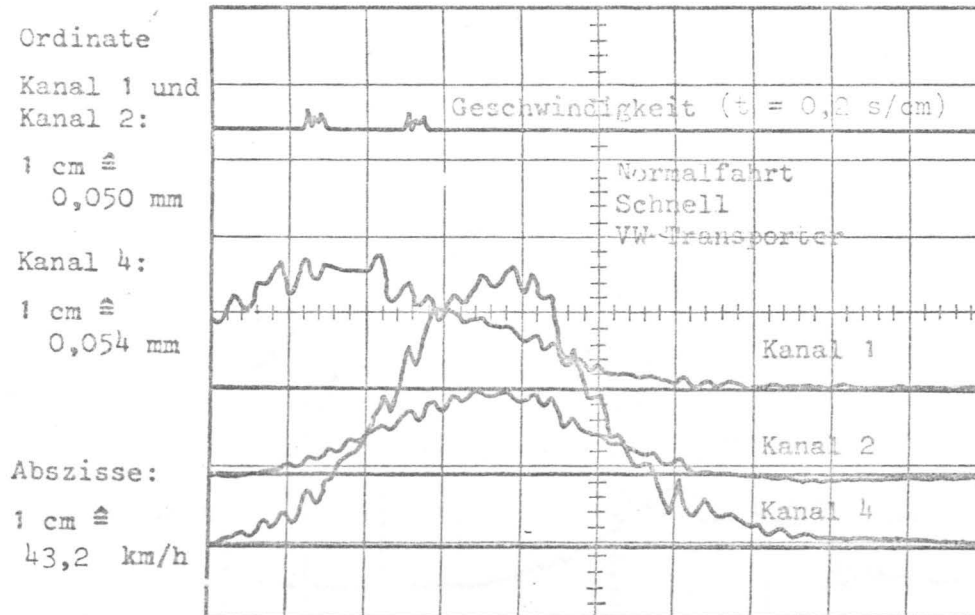
Meßobjekt: HKD ÜZH HE



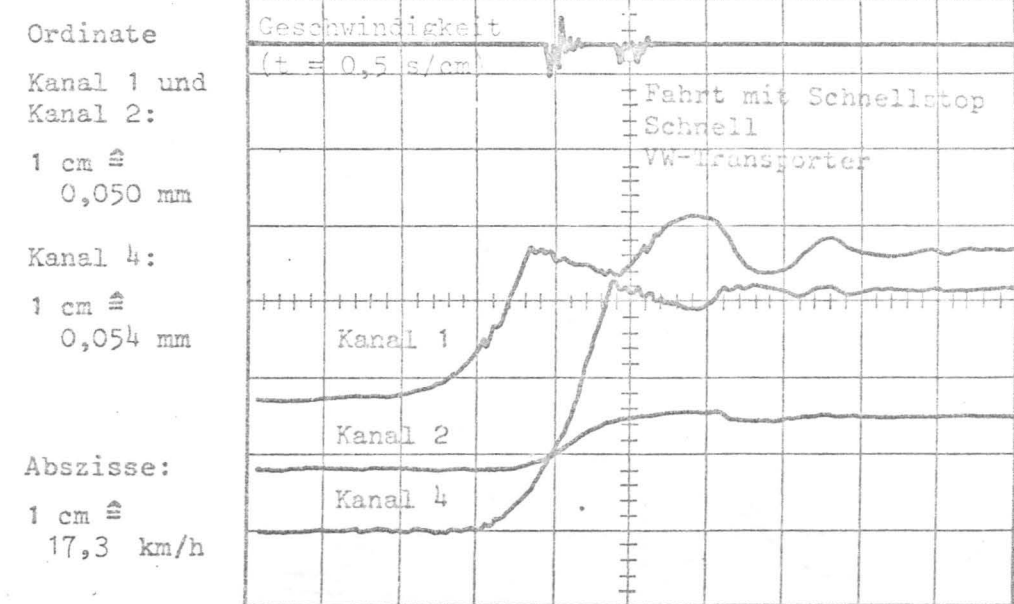
Meßobjekt: HKD ÜZH HE



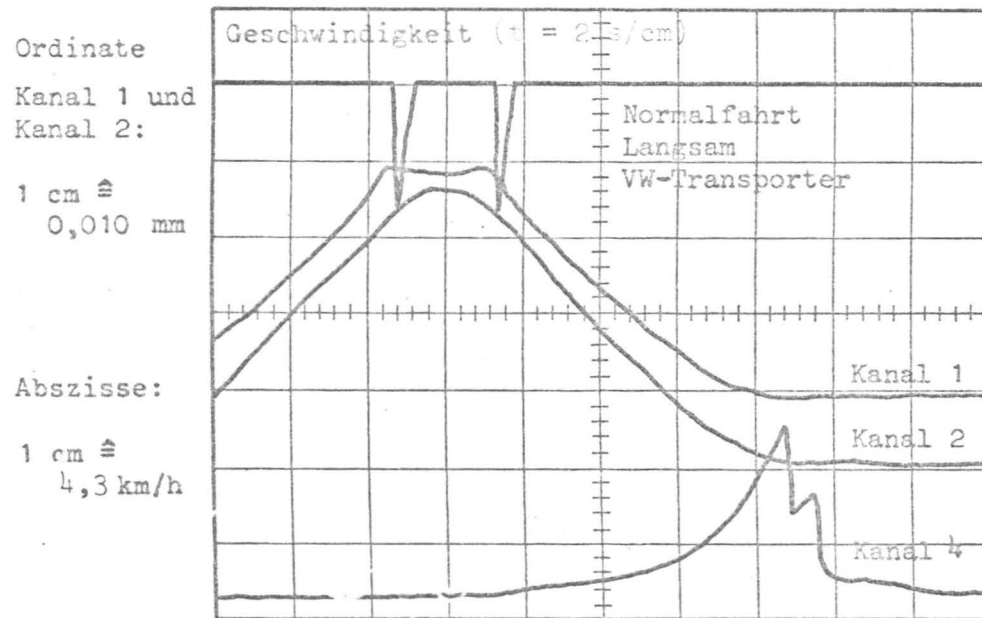
Meßobjekt: HKD ÜZH HE



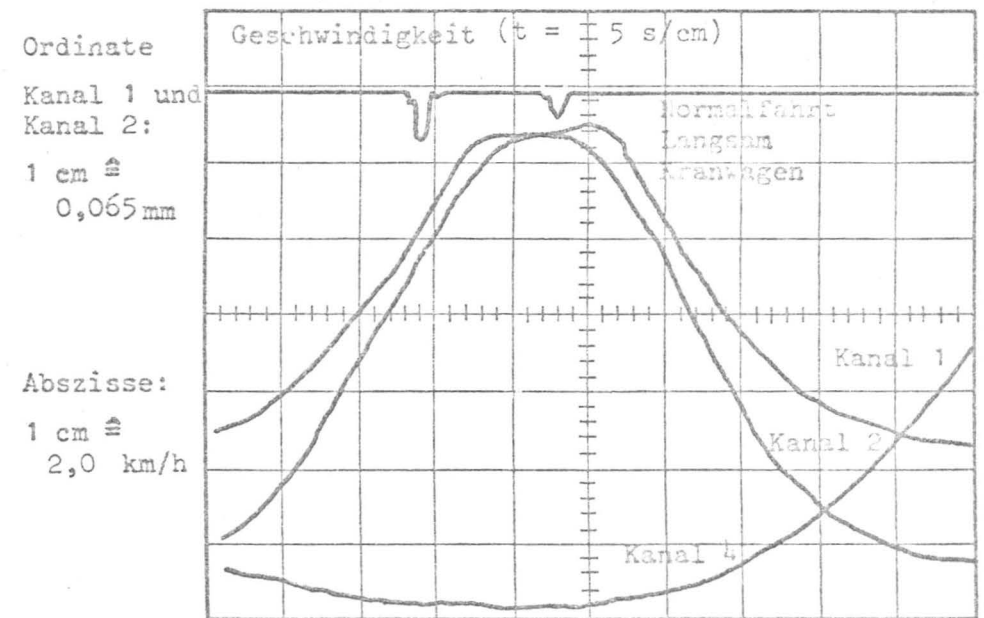
Meßobjekt: HKD ÜZH HE



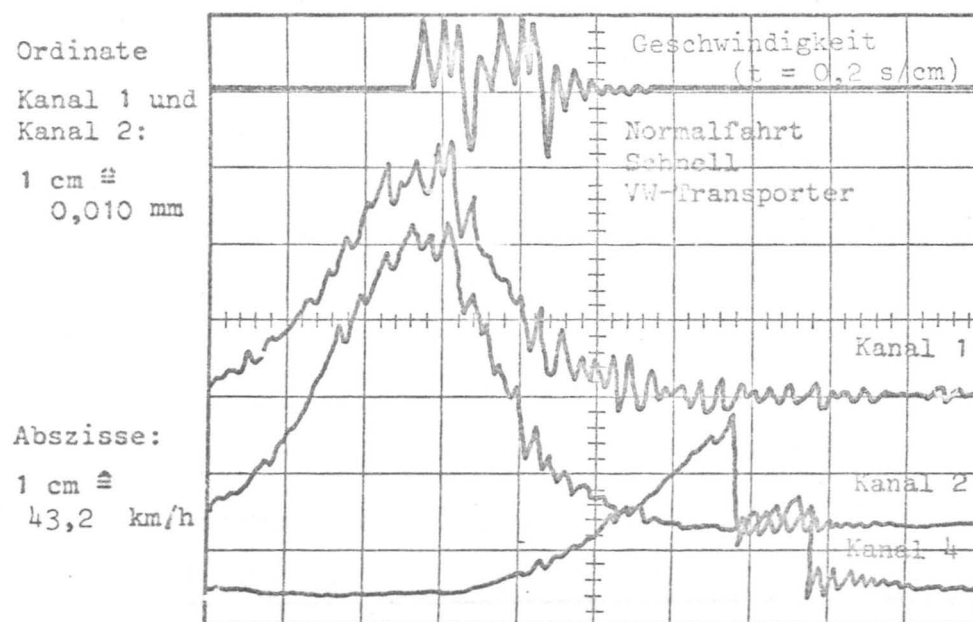
Meßobjekt: VW Werkhalle SZ



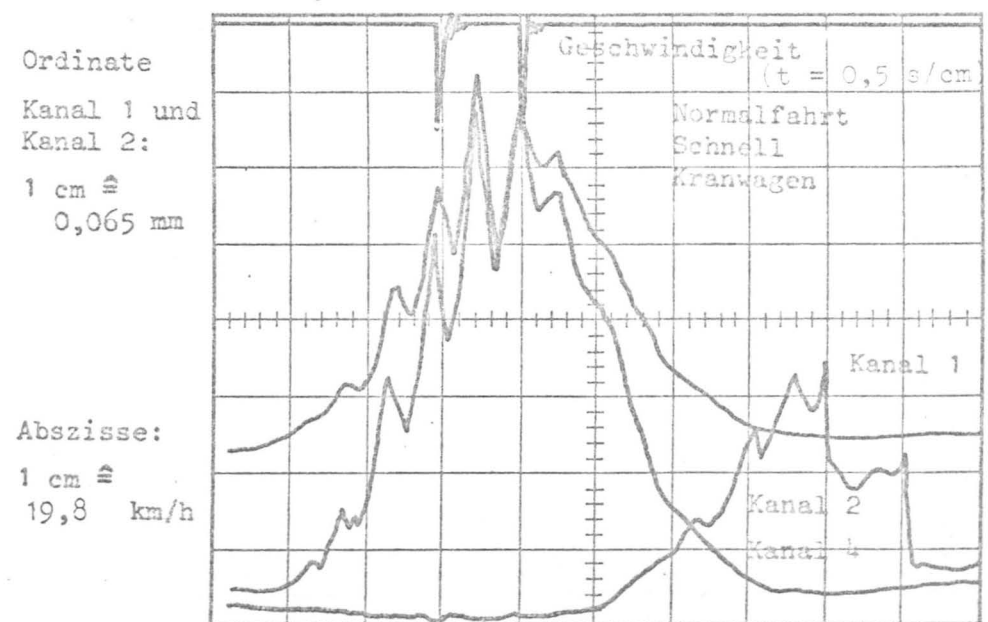
Meßobjekt: VW Werkhalle SZ



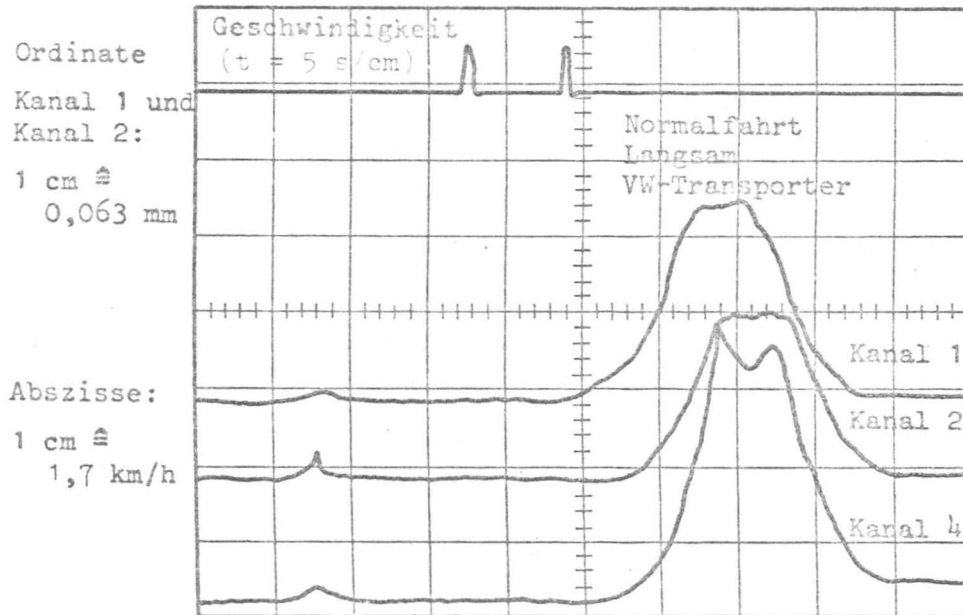
Meßobjekt: VW Werkhalle SZ



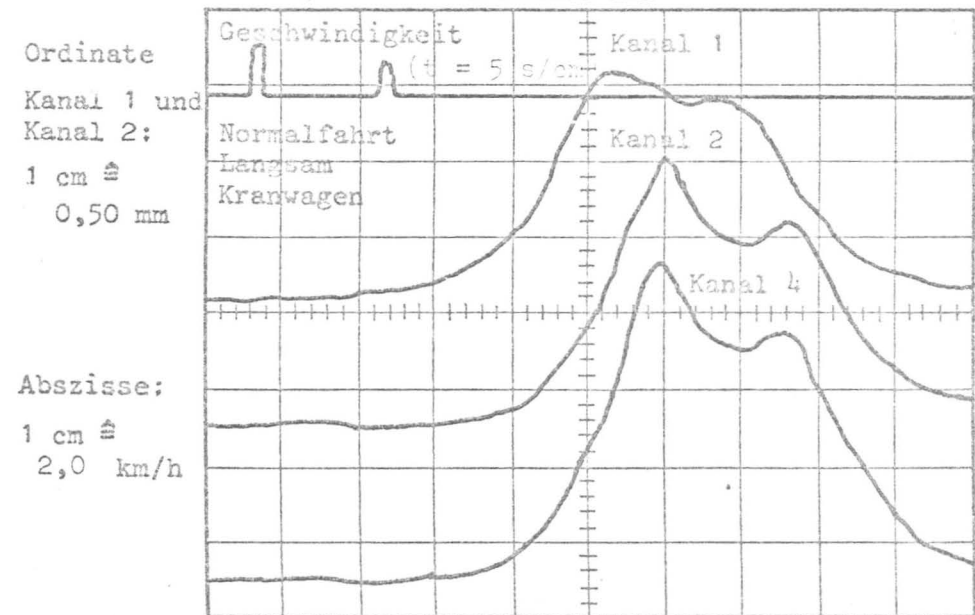
Meßobjekt: VW Werkhalle SZ



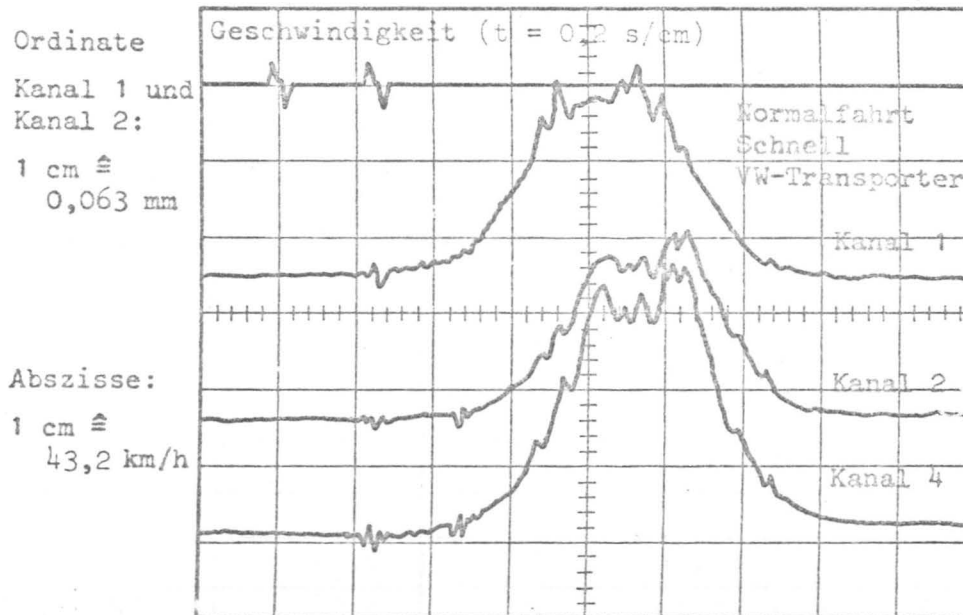
Meßobjekt: VW Werkhalle EMD



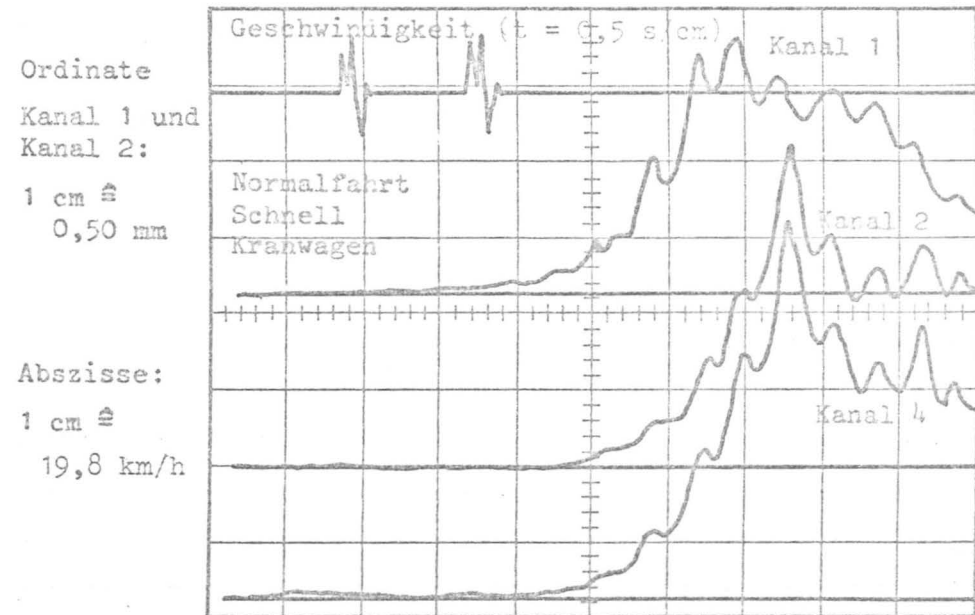
Meßobjekt: VW Werkhalle EMD



Meßobjekt: VW Werkhalle EMD



Meßobjekt: VW Werkhalle EMD



lfd. Nr.	Kode	V _{ist} km/h	τ sec	Meßstelle MS...1...K 1: Unterzug Feld 1/2: Balken x=1/2						Meßstelle MS...2...K 2: Deckenfeld 1: Platte x=1/2					
				VERSTÄRKUNG Brücke 564 B		w _{max}	w _{mittel}	dw	Bemerkungen	VERSTÄRKUNG Brücke 564 B		w _{max}	w _{mittel}	dw	Bemerkungen
1	Foto		5	1	0,2	1,55	1,55	-	$\alpha=0,0466$ mm/cm Bild	1	0,2	4,75	4,75	-	$\alpha=0,0467$ mm/cm Bild
2	"		5	1	.	1,60	1,60	-		1	.	4,50	4,50	-	
3	"		5	1	.	1,60	1,60	-		1	.	4,70	4,70	-	
4a	"		5	.	.	1,65	1,65	-		.	.	4,70	4,70	-	
4b	"		5	.		1,50	1,50	-		.		4,50	4,50	-	
5	"		5	.		1,70	1,70	-		.		4,70	4,70	-	
6	"		1			1,60	-	0,2				4,60	-	0,3	Bauwerk PH Wilhelmstraße, Braunschweig Vom Bildschirm (Foto) abgelesene relative Deckendurchbiegungen
7	"		1			1,60	-	0,2				4,65	-	0,3	
8	"		1			1,55	-	0,1				4,60	-	0,4	
9	"		1			1,60	-	0,15				4,70	-	0,4	
10	"		0,5			1,60	-	0,2				4,80	-	0,6	
11	"		0,5			1,60	-	0,2				4,70	-	0,8	
12	"		0,5			1,60	-	0,2				4,90	-	0,9	
13	"		0,5			1,70	-	0,2				4,90	-	1,2	
14	"		0,2			1,55	-	0,2				4,90	-	0,9	
15	"		5			1,60	1,60	-				4,40	4,40	-	
16	"		5			1,60	1,60	-				4,50	4,50	-	
17	"		5			1,60	1,60	-				4,40	4,40	-	
18	"		5			1,60	1,60	-				4,40	4,40	-	
19	"		5			1,50	-	0,2				4,50	-	0,3	
21	"		1			1,60	-	0,1				4,45	-	0,2	
22	"		1			1,60	-	0,2				4,60	-	0,4	
23a	"		1			1,60	-	0,2				4,50	-	0,3	
23b	"		0,5			1,60	-	0,2				4,50	-	0,3	
24	"		0,5			1,70	-	0,4				4,70	-	1,2	

Anlage 4
Blatt 1

DECKENDURCHBIEGUNG UNTER FAHRVERKEHR

MESSORT: PH Wilhelmstr. Braunschweig

BLATT: 1 (Wiederholung)

NR.-FOTO-GESCHW. MESSTELLE DURCHBIEGUNG/WELLLIGKEIT BEMERK.

	v [km/h]			w _{max} [mm]	w _{mittel} [mm]	dw [mm]
1 F	✓ 2.66	KANAL 1		.072	.072	.000
		KANAL 2		.222	.222	.000
		KANAL 3		.210	.203	.014
		KANAL 4		Keine Auswertung		
2 F	✓ 1.55	KANAL 1		.075	.075	.000
		KANAL 2		.210	.210	.000
		KANAL 3		.210	.210	.000
		KANAL 4		Keine Auswertung		
3 F	✓ 1.13	KANAL 1		.075	.075	.000
		KANAL 2		.219	.219	.000
		KANAL 3		.210	.210	.000
		KANAL 4		Keine Auswertung		
4 F	✓ 1.69	KANAL 1		.077	.077	.000
		KANAL 2		.219	.219	.000
		KANAL 3		.210	.205	.009
		KANAL 4		Keine Auswertung		
4 F	✓ 1.69	KANAL 1		.070	.070	.000
		KANAL 2		.210	.210	.000
		KANAL 3		.210	.205	.009
		KANAL 4		Keine Auswertung		
5 F	✓ 1.55	KANAL 1		.079	.079	.000
		KANAL 2		.219	.219	.000
		KANAL 3		.205	.205	.000
		KANAL 4		Keine Auswertung		
6 F	7.77	KANAL 1		.075	.070	.009
		KANAL 2		.215	.208	.014
		KANAL 3		.210	.205	.009
		KANAL 4		Keine Auswertung		
7 F	10.36	KANAL 1		.075	.070	.009
		KANAL 2		.217	.210	.014
		KANAL 3		.219	.215	.009
		KANAL 4		Keine Auswertung		
8 F	10.36	KANAL 1		.072	.070	.005
		KANAL 2		.215	.205	.019
		KANAL 3		.210	.205	.009
		KANAL 4		Keine Auswertung		
9 F	12.44	KANAL 1		.075	.071	.007
		KANAL 2		.219	.210	.019
		KANAL 3		.210	.203	.014
		KANAL 4		Keine Auswertung		
10 F	26.65	KANAL 1		.075	.070	.009
		KANAL 2		.224	.210	.028
		KANAL 3		.219	.210	.019
		KANAL 4		Keine Auswertung		

SCHWINGBEIWERTE FUER NORMALFAHRT

MESSOBJEKT: PH WILHELMSTR. BS

AUSWERTUNG KANAL 2: M 2 PLATTE x = 1/2

MESSUNG 1 BIS 14

MESSUNG GESCHW. DURCHBIEGUNG/WELLLIGKEIT

B E I W E R T E

	v	w _{max}	w _{mittel}	dw	phi 1	phi 2	psi	rho	phi
	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	w _{stat} =	.217 ±	.005 mm	n =	6
1	2.66	.222	.222	.000	1.000	1.000	1.000	1.025	1.025
2	1.55	.210	.210	.000	1.000	1.000	1.000	.970	.970
3	1.13	.219	.219	.000	1.000	1.000	1.000	1.012	1.012
4	1.69	.219	.219	.000	1.000	1.000	1.000	1.012	1.012
4	1.69	.210	.210	.000	1.000	1.000	1.000	.970	.970
5	1.55	.219	.219	.000	1.000	1.000	1.000	1.012	1.012
6	7.77	.215	.208	.014	1.034	1.034	1.000	.961	.993
7	10.36	.217	.210	.014	1.033	1.033	1.000	.970	1.002
8	10.36	.215	.205	.019	1.049	1.046	1.002	.947	.993
9	12.44	.219	.210	.019	1.043	1.045	.998	.970	1.012
10	26.65	.224	.210	.028	1.067	1.067	1.000	.970	1.035
11	26.65	.219	.201	.037	1.090	1.092	.998	.928	1.012
12	26.65	.229	.208	.042	1.101	1.101	1.000	.961	1.058
13	31.10	.229	.201	.056	1.139	1.139	1.000	.928	1.058
14	32.17	.229	.208	.042	1.101	1.101	1.000	.961	1.058

STATISTISCHE AUSWERTUNG

ANZAHL DER MESSWERTE	15
MITTELWERT	1.015
STANDARDABWEICHUNG	.028
SCHWELLENWERT t	1.761
VERTRAUENSBEREICH	.013

Anlage 5 - Blatt 1: Meßergebnisse "Normalfahrt"

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	Meßstelle	Durchbiegung w _{stat} in mm	Anzahl der Meßwerte		Geschwindig- keitsbereich in km/h	Schwingbeiwerte				
				w _{stat}	w _{dyn}		Wertebereich	Mittelwert	Standard- abweichung	Vertrauens- bereich	Wahrschein- licher Höchstwert
							φ _{min} ...φ _{max}	$\bar{\varphi}$	s _φ	Δ_{95}	φ ₉₅
1.1	<u>Parkgarage (PD)</u> der Stadthalle in Braunschweig	M1:Platten- mitte 1	0,052±0,002	5	37	0...37	0,935...1,107	1,002	0,037	0,010	1,063
		M5:Platten- mitte 2	0,047±0,000	9	9	0...34	0,995...1,038	1,028	0,015	0,010	1,053
1.2	<u>Parkdeck (PD)</u> am Wellenbad in Altenau	M1:Platten- mitte 1	0,550±0,020	6	43	0...35	0,913...1,057	0,979	0,040	0,010	1,045
		M3:Platten- viertel	0,866±0,059	5	14	0...23	0,861...1,076	0,952	0,076	0,036	1,077
		M5:Platten- mitte 2	0,724±0,022	5	15	0...35	0,992...1,030	0,995	0,022	0,010	1,031
1.3	<u>Parkpalette</u> (PD) Wolfs- burg	M1:Balken- mitte	0,498±0,022	7	18	1...37	0,944...1,080	1,012	0,037	0,015	1,073
		M2:Platten- mitte 1	0,599±0,032	7	18	1...37	0,964...1,123	1,031	0,039	0,016	1,095
		M4:Platten- mitte 2	0,661±0,011	4	17	1...37	0,967...1,166	1,036	0,061	0,026	1,136
1.4	<u>Parkdeck (PD)</u> med. Hoch- schule	M1:Balken- mitte	0,166±0,003	4	17	1...43	0,830...1,017	0,954	0,054	0,023	1,043
		M2:Platten- mitte	0,141±0,024	14	14	1...43	0,885...1,394	1,057	0,152	0,072	1,307
		M2:Platten- mitte	0,167±0,023	4	14	1...43	0,751...1,183	0,897	0,129	0,061	1,109
1.5	<u>Parkhaus (PH)</u> Wilhelmstr. in Braunschweig	M1:Balken- mitte	0,074±0,003	12	43	2...36	0,920...1,218	1,044	0,055	0,014	1,134
		M2:Platten- mitte 1	0,224±0,009	10	36	2...36	0,936...1,106	1,034	0,037	0,010	1,095
		M2:Platten- mitte 1	0,217±0,005	6	15	1...32	0,970...1,058	1,015	0,028	0,016	1,061 ¹⁾

1) Wiederholungsmessung 1 Jahr nach der ersten Messung

++) Wegen der Geschwindigkeitsabhängigkeit von w_{mittel} wurden zur Berechnung von w_{stat} sämtliche Meßwerte von w_{mittel} verwendet.
Die folgende Zeile gilt für die übliche Auswertung: $w_{stat} \hat{=} \text{Mittelwert } (w_{mittel} (v < 5 \text{ km/h}))$

Anlage 5 - Blatt 2: Meßergebnisse "Normalfahrt"

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	Meßstelle	Durchbiegung w_{stat} in mm	Anzahl der Meßwerte		Geschwindig- keitsbereich in km/h	Schwingbeiwerte				
				w_{stat}	w_{dyn}		Wertebereich $\varphi_{\text{min}} \dots \varphi_{\text{max}}$	Mittelwert $\bar{\varphi}$	Standard- abweichung s_{φ}	Vertrauens- bereich $\Delta\varphi_{95}$	Wahrschein- licher Höchstwert φ_{95}
1.5	Parkhaus (PH) Wilhelmstr. in Braunschweig	M4:Platten- mitte 2	0,218±0,018	8	27	2...36	0,934...1,144	1,029	0,053	0,018	1,116
		M4:Platten- mitte 2	0,206±0,003	6	15	1...32	0,994...1,061	1,026	0,020	0,011	1,059 1)
2.1	Fahrzeughalle (HKD) der Feuerwache in Braunschweig	M1:Platten- viertel	0,011±0,001	5	32	0...39	0,877...1,140	0,959	0,063	0,019	1,063
		M2:Platten- mitte 1	0,020±0,001	4	33	0...39	0,872...1,128	1,009	0,055	0,016	1,099
		M4:Platten- mitte 2	0,015±0,002	5	32	0...39	0,844...1,039	0,976	0,048	0,014	0,999
		Kranwagen M1:Platten- viertel	0,152±0,008	2	7	10...17	0,961...1,145	1,079	0,068	0,050	1,191
		M2:Platten- mitte 1	0,256±0,000	2	7	10...17	1,000...1,098	1,039	0,049	0,036	1,120
		M4:Platten- mitte 2	0,206±0,000	2	4	10...17	1,000...1,107	1,034	0,050	0,059	1,116
2.2	Hofkeller- decke (HKD) ÜZH Helmstedt	M1:Platten- mitte	0,187±0,008	9	33	1...36	0,923...1,355	1,024	0,098	0,029	1,185
		M2:Balken- mitte 2	0,069±0,004	9	27	1...36	0,722...1,083	0,924	0,097	0,032	1,084
		M3:Balken- mitte 1	0,078±0,005	9	33	1...36	0,892...1,339	1,057	0,101	0,030	1,223
		M3:Balken- mitte 1 Spur ver- setzt	0,093±0,011	2	12	2...36	0,919...1,135	1,046	0,061	0,031	1,146

1) Wiederholungsmessung 1 Jahr nach der ersten Messung

Anlage 5 - Blatt 3: Meßergebnisse "Normalfahrt"

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	Meßstelle	Durchbiegung w_{stat} in mm	Anzahl der Meßwerte		Geschwindig- keitsbereich in km/h	Schwingbeiwerte				
				w_{stat}	w_{dyn}		Wertebereich	Mittelwert	Standard- abweichung	Vertrauens- bereich	Wahrschein- licher Höchstwert
							$\varphi_{min} \dots \varphi_{max}$	$\bar{\varphi}$	s_{φ}	$\Delta\varphi_{95}$	φ_{95}
2.3	Hofkellerdecke Fa. Götz Deko- ration Hamburg	M1:Platten- mitte 1	0,305±0,003	8	8	20..23	1,000...1,000	1,000	0,000	0,000	1,000 ²⁾
		M2:Balken- mitte	0,057±0,002	7	7	20..25	1,000...1,050	1,017	0,0214	0,020	1,052
		M3:Platten- mitte 2	0,236±0,010	9	9	21..25	1,000...1,091	1,037	0,039	0,030	1,211
3.1	Montagehalle des VW Werks Werk Salz- gitter	Transporter									
		M2:Platten- mitte	0,031±0,0018	8	30	2...49	0,918...1,246	1,050	0,076	0,024	1,089
		M1:Balken- mitte 1	0,042±0,001	8	30	2...49	0,961...1,105	1,031	0,049	0,015	1,112
		M4:Balken- mitte 2	0,021±0,001	8	28	2...49	0,905...1,143	1,032	0,061	0,020	1,132
		M4:Balken- mitte 2	0,021±0,001	8	20	4...23	0,714...1,095	0,938	0,086	0,033	1,079
	Spur versetzt: 1 m links	M2:Platten- mitte	0,020±0,001	3	7	4...41	0,950...1,200	1,036	0,103	0,076	1,205
		M1:Balken- mitte 1	0,037±0,002	3	7	4...41	0,946...1,081	1,012	0,041	0,030	1,079
		M4:Balken- mitte 2	0,018±0,000	3	7	4...41	0,944...1,056	0,984	0,042	0,031	1,053 ³⁾
	Spur versetzt: 1 m rechts	M2:Platten- mitte	0,019±0,000	1	4	5...43	0,789...1,000	0,882	0,090	0,106	1,030
		M1:Balken- mitte 1	0,014±0,000	1	4	5...43	0,929...1,000	0,946	0,036	0,042	1,005
		M4:Balken- mitte 2	0,009±0,000	1	4	5...43	1,000...1,111	1,028	0,056	0,065	1,120

3) Werte für Normalfahrt bei M4 und Schnellstop bei M1: Fahrt vermutlich schon verzögert.

2) Wegen der räumlichen Enge mußte im Hinblick auf den Bremsweg bei hohen Geschwindigkeiten

4.2 Fahrten versetzt werden: deshalb konnte hier nur der Schwingbeiwert φ angegeben werden.

Anlage 5 - Blatt 4: Meßergebnisse "Normalfahrt"

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	Meßstelle	Durchbiegung w_{stat} in mm	Anzahl der Meßwerte		Geschwindig- keitsbereich in km/h	S c h w i n g b e i w e r t e				
				w_{stat}	w_{dyn}		Wertebereich $\varphi_{\text{min}} \dots \varphi_{\text{max}}$	Mittelwert	Standard- abweichung s_{φ}	Vertrauens- bereich $\Delta \varphi_{95}$	Wahrschein- licher Höchstwert φ_{95}
3.1	Montagehalle des VW Werks Werk Salz- gitter	Kranwagen									
		M2:Platten- mitte	0,249±0,011	5	10	1...20	0,929...1,291	1,094	0,121	0,070	1,293
		M1:Balken- mitte 1	0,379±0,006	5	10	1...20	0,990...1,244	1,059	0,082	0,048	1,194
		M4:Balken- mitte 2	0,195±0,005	5	9	1...20	0,972...1,034	1,001	0,025	0,015	1,042
	Spur versetzt: 1,25 m links	M2:Platten- mitte	0,161±0,009	6	9	2...20	0,955...1,153	1,042	0,081	0,050	1,175
		M1:Balken- mitte 1	0,319±0,013	5	8	2...20	0,940...1,187	1,059	0,091	0,061	1,209
		M4:Balken- mitte 2	0,163±0,011	6	9	2...20	0,914...1,080	0,998	0,066	0,041	1,107
		Gabelstapler									
		M2:Platten- mitte	0,098±0,000	1	9	3...13	0,980...1,306	1,120	0,132	0,082	1,337
		M1:Balken- mitte 1	0,219±0,000	1	9	2...13	0,945...1,142	1,051	0,083	0,052	1,188
	M4:Balken- mitte 2	0,081±0,017	5	5	3...13	1,020...1,278	1,204	0,104	0,099	1,375	
	M4:Balken- mitte 2	0,117±0,003	3	5	5...14	0,966...1,120	1,038	0,058	0,056	1,133 ³⁾	

3) Werte für Normalfahrt bei M4 und Schnellstop bei M1: Fahrt vermutlich schon verzögert.

Anlage 5 - Blatt 5: Meßergebnisse "Normalfahrt"

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	Meßstelle	Durchbiegung w_{stat} in mm	Anzahl der Meßwerte		Geschwindig- keitsbereich in km/h	Schwingbeiwerte				
				w_{stat}	w_{dyn}		Wertebereich $\varphi_{min} \dots \varphi_{max}$	Mittelwert	Standard- abweichung s_{φ}	Vertrauens- bereich $\Delta\varphi_{95}$	Wahrschein- licher Höchstwert φ_{95}
3.1	Montagehalle des VW Werks Werk Salz- gitter Spur versetzt: 0,65 m links	Gabelstapler M2:Platten- mitte M1:Balken- mitte 1 M4:Balken- mitte 2 2.OG.	0,130±0,004	3	3	2...13	0,982...1,228	1,064	0,142	0,239	1,298
		M1:Balken- mitte 1	0,243±0,007	3	3	2...13	0,971...1,177	1,049	0,111	0,188	1,232
		M4:Balken- mitte 2 2.OG.	0,129±0,018	3	3	2...13	0,876...1,155	1,000	0,142	0,240	1,234
3.2	Sichtgebäude der Lehrter Zucker AG Werk Lehrte	M3:Platten- mitte M4:Balken- mitte 4.OG. M3:Platten- mitte M4:Balken- mitte	0,098±0,006	10	19	1...7	0,917...1,121	1,033	0,057	0,023	1,127
		M4:Balken- mitte 4.OG.	0,035±0,002	10	18	1...7	0,855...1,225	1,105	0,078	0,032	1,233
		M3:Platten- mitte	0,373±0,008	8	13	1...7	0,953...1,173	1,048	0,069	0,034	1,162
		M4:Balken- mitte	0,078±0,003	10	20	1...7	0,957...1,250	1,066	0,087	0,034	1,209
3.3	Montagehalle des VW Werks Werk Emden	Transporter M1:Balken- mitte M2:Platten- viertel M3:Platten- mitte	0,135±0,004	10	26	1...43	0,928...1,158	1,045	0,061	0,020	1,145
		M2:Platten- viertel	0,117±0,005	10	26	1...43	0,933...1,207	1,017	0,032	0,028	1,152
		M3:Platten- mitte	0,178±0,005	10	25	1...43	0,951...1,109	1,020	0,043	0,015	1,091

Anlage 5 - Blatt 6: Meßergebnisse "Normalfahrt"

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	Meßstelle	Durchbiegung w_{stat} in mm	Anzahl der Meßwerte		Geschwindig- keitsbereich in km/h	Schwingbeiwerte:				Wahrschein- licher Höchstwert φ_{95}
				w_{stat}	w_{dyn}		Wertebereich $\varphi_{\text{min}} \dots \varphi_{\text{max}}$	Mittelwert	Standard- abweichung s_{φ}	Vertrauens- bereich $\Delta \varphi_{95}$	
3.3	<u>Montagehalle</u> des VW Werks Werk Emden	Kranwagen									
		M1:Balken- mitte	1,244±0,066	4	11	1...12	0,925...1,146	1,047	0,063	0,034	1,151
		M2:Platten- viertel	1,475±0,074	4	11	1...12	0,932...1,220	1,065	0,080	0,044	1,197
		M3:Platten- mitte	1,750±0,041	4	11	1...12	0,971...1,200	1,064	0,068	0,037	1,176

Anlage 6 - Blatt 1: Meßergebnisse "Schnellstop"

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	Meßstelle	Durchbiegung w_{stat} in mm	Anzahl der Meßwerte		Geschwindig- keitsbereich in km/h	Schwingbeiwerte:				
				w_{stat}	w_{dyn}		Wertebereich	Mittelwert	Standard- abweichung	Vertrauens- bereich	Wahrschein- licher Höchstwert
							$\varphi_{min} \dots \varphi_{max}$		s_{φ}	$\Delta\varphi_{95}$	φ_{95}
1.5	Parkhaus (PH) Wilhelmstraße in Braunschweig	M4:Platten- mitte 2	0,261±0,006	6 ⁺)	16	3...28	1,124...1,301	1,206	0,066	0,029	1,315
2.1	Fahrzeughalle (HKD) der Feuerwache in Braunschweig	M1:Platten- viertel	0,011±0,001	5 ⁺)	9	16...28	1,053...1,228	1,150	0,053	0,033	1,237
		M4:Platten- mitte	0,015±0,001	5 ⁺)	9	16...28	1,039...1,169	1,082	0,046	0,028	1,158
3.1	Montagehalle der Volkswagen- werk AG Werk Salzgitter	M2:Platten- mitte	0,031±0,008	8 ⁺)	23	4...25	0,967...1,369	1,112	0,113	0,040	1,298
		M1:Balken- mitte 1	0,042±0,001	8 ⁺)	23	4...25	0,976...1,214	1,109	0,082	0,029	1,244
		Kranwagen									
		M2:Platten- mitte	0,172±0,002	2	4	4...17	1,009...1,160	1,079	0,073	0,086	1,199
		M1:Balken- mitte 1	0,336±0,021	2	4	4...17	1,064...1,171	1,107	0,046	0,055	1,183
		Gabelstapler									
		M2:Platten- mitte	0,115±0,000	3	5	5...14	1,000...1,174	1,075	0,075	0,072	1,198
		M1:Balken- mitte 1	0,226±0,011	3	5	5...14	1,012...1,135	1,067	0,051	0,048	1,151

+) Die Meßwerte für w_{stat} sind nicht in den Meßwerten w_{dyn} enthalten, s. Normalfahrt

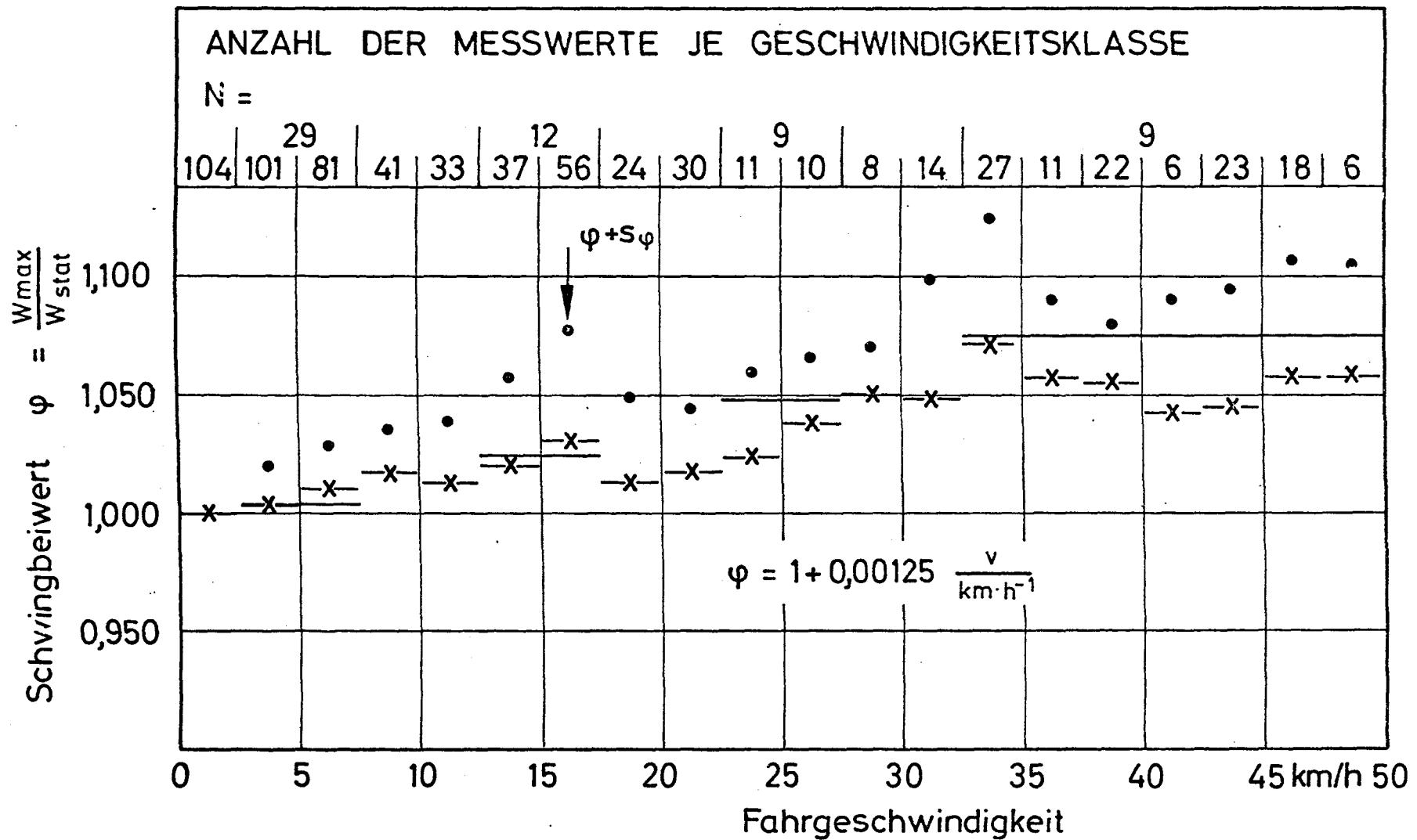
Anlage 6 - Blatt 2: Meßergebnisse "Schnellstop"

Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	Meßstelle	Durchbiegung w_{stat} in mm	Anzahl der Meßwerte w_{stat} w_{dyn}		Geschwindig- keitsbereich in km/h	Schwingbeiwerte				
							Wertebereich	Mittelwert	Standard- abweichung	Vertrauens- bereich	Wahrschein- licher Höchstwert
							$\varphi_{min} \dots \varphi_{max}$	$\bar{\varphi}$	s_{φ}	$\Delta\varphi_{95}$	φ_{95}
3.2	<u>Sichtgebäude</u> der Lehrter Zucker AG Werk Lehrte	2.OG. M3:Platten- mitte	0,098±0,006	10 ⁺)	12	1...15	1,019...1,162	1,064	0,050	0,026	1,199
		4.OG. M3:Platten- mitte	0,373±0,008	8 ⁺)	10	1... 6	0,937...1,087	1,023	0,049	0,028	1,104
3.3	<u>Montagehalle</u> der Volks- wagenwerk AG Werk Emden	Kranwagen M2:Platten- viertel	1,475±0,074	4 ⁺)	8	2...9	0,949...1,322	1,104	0,129	0,086	1,316
		M3:Platten- mitte	1,750±0,040	4 ⁺)	8	2...9	1,043...1,343	1,150	0,116	0,078	1,341
		Transporter M2:Platten- viertel	0,117±0,005	10 ⁺)	3	5...32	1,122...1,336	1,213	0,110	0,186	1,394
		M3:Platten- mitte	0,178±0,005	10 ⁺)	3	5...32	1,159...1,373	1,255	0,109	0,183	1,434

Anlage 7: Meßergebnisse "Schwelle"

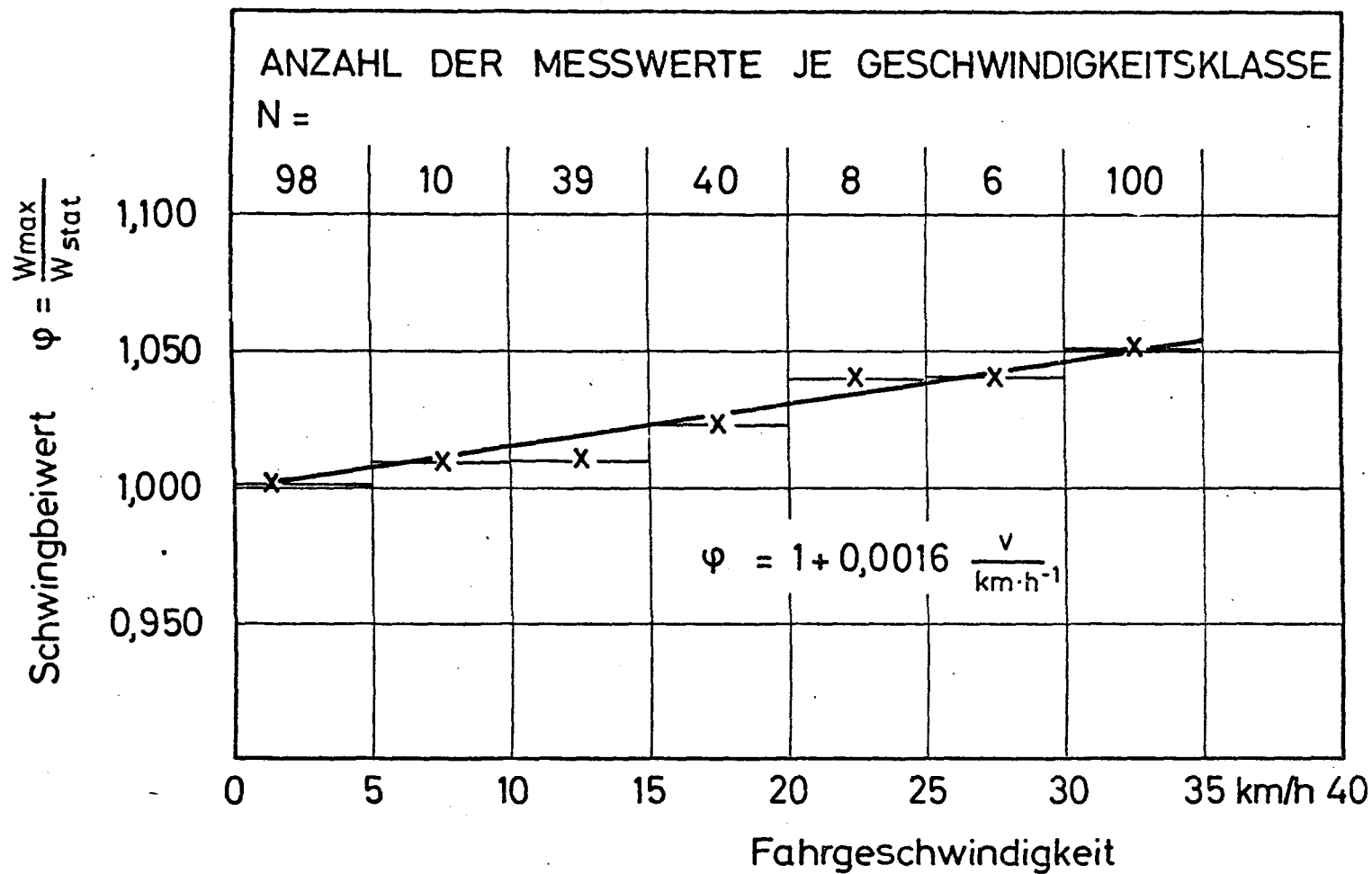
Lfd. Nr.	Bauwerk Ort, Verwendung	Meßstelle	Durchbiegung w_{stat} in mm	Anzahl der Meßwerte		Geschwindig- keitsbereich in km/h	S c h w i n g b e i w e r t e				
				w_{stat}	w_{dyn}		Wertebereich $\varphi_{\text{min}} \dots \varphi_{\text{max}}$	Mittelwert	Standard- abweichung s_{φ}	Vertrauens- bereich $\Delta \varphi_{95}$	Wahrschein- licher Höchstwert φ_{95}
1.3	<u>Parkpalette</u> (PD) Wolfsburg	M2:Flatten- mitte 1	0,599±0,032	7 ⁺)	7	2...11	1,031...1,210	1,149	0,063	0,046	1,253
		M4:Platten- mitte 2	0,658±0,010	7 ⁺)	7	2...11	0,917...1,246	1,141	0,124	0,091	1,345
1.4	<u>Parkdeck</u> (PD) med. Hoch- schule Schwelle bei M1	M1:Balken- mitte	0,166±0,003	4 ⁺)	6	0...43	1,203...1,468	1,322	0,094	0,077	1,477
		M2:Platten- mitte	0,167±0,023	4 ⁺)	6	0...43	0,901...1,315	1,202	0,153	0,126	1,454
1.5	<u>Parkhaus</u> (PH) Wilhelmstr. in Braunschweig Schwelle bei M3 - 50 cm - Schwelle bei M3 - 30 cm -	M4:Platten- mitte	0,206±0,003	6 ⁺)	8	1...35	1,102...2,209	1,479	0,401	0,336	2,139
		M4:	0,206±0,003	6 ⁺)	10	1...35	1,025...2,248	1,578	0,544	0,389	2,473
3.1	<u>Montagehalle</u> der Volkswagen- werk AG Werk Salzgitter	M2:Platten- mitte	0,031±0,0018	8 ⁺)	11	4...39	1,016...1,770	1,332	0,207	0,113	1,673
		M1:Balken- mitte 1	0,042±0,001	8 ⁺)	10	4...39	0,985...1,562	1,235	0,205	0,119	1,572

+) Die Meßwerte für w_{stat} sind nicht in den Meßwerten w_{dyn} enthalten, s. Normalfahrt



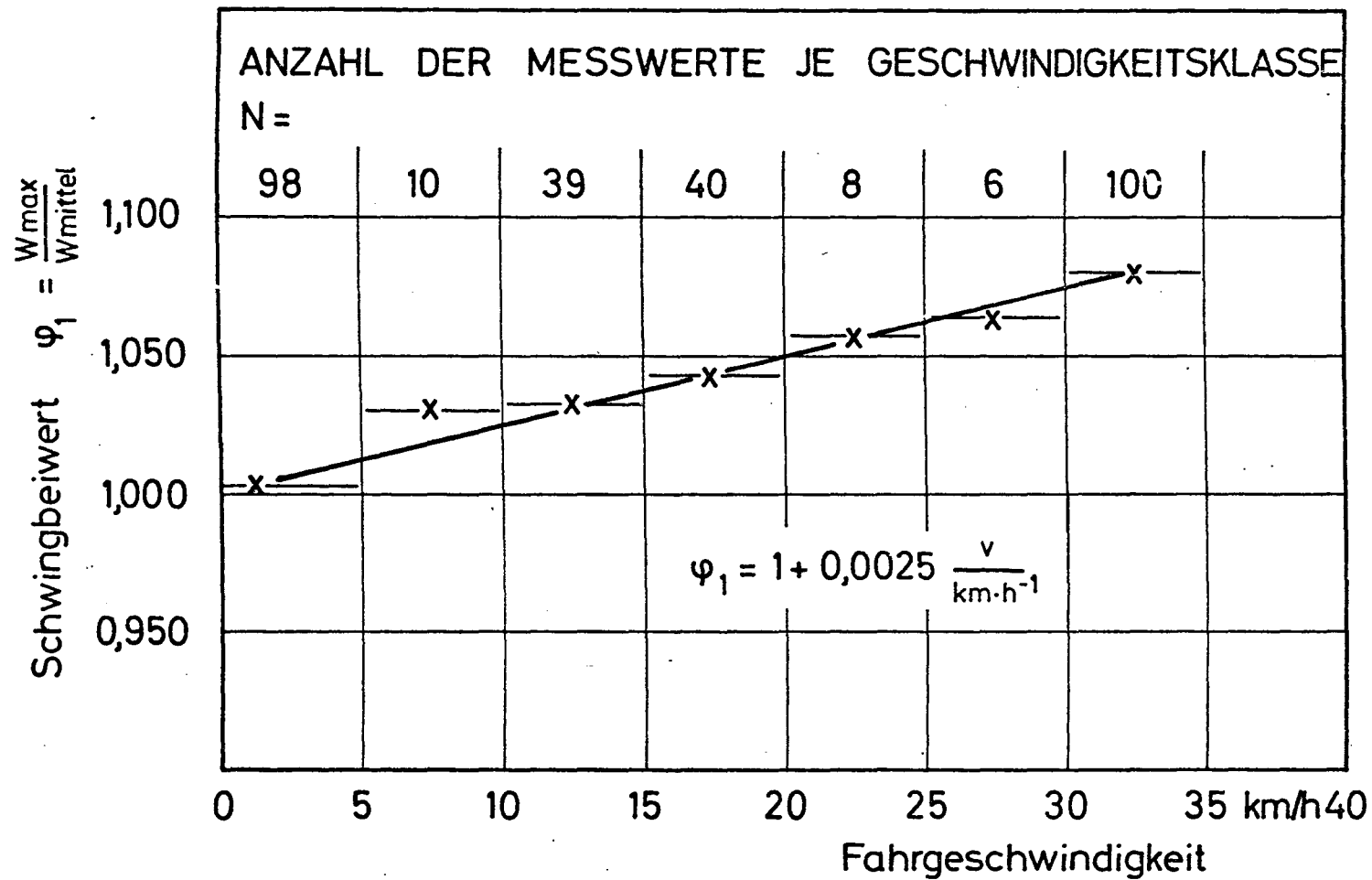
EINFLUSS DER GESCHWINDIGKEIT
 – MITTELWERT FÜR SÄMTLICHE NORMALFAHRTEN –

Anlage 8



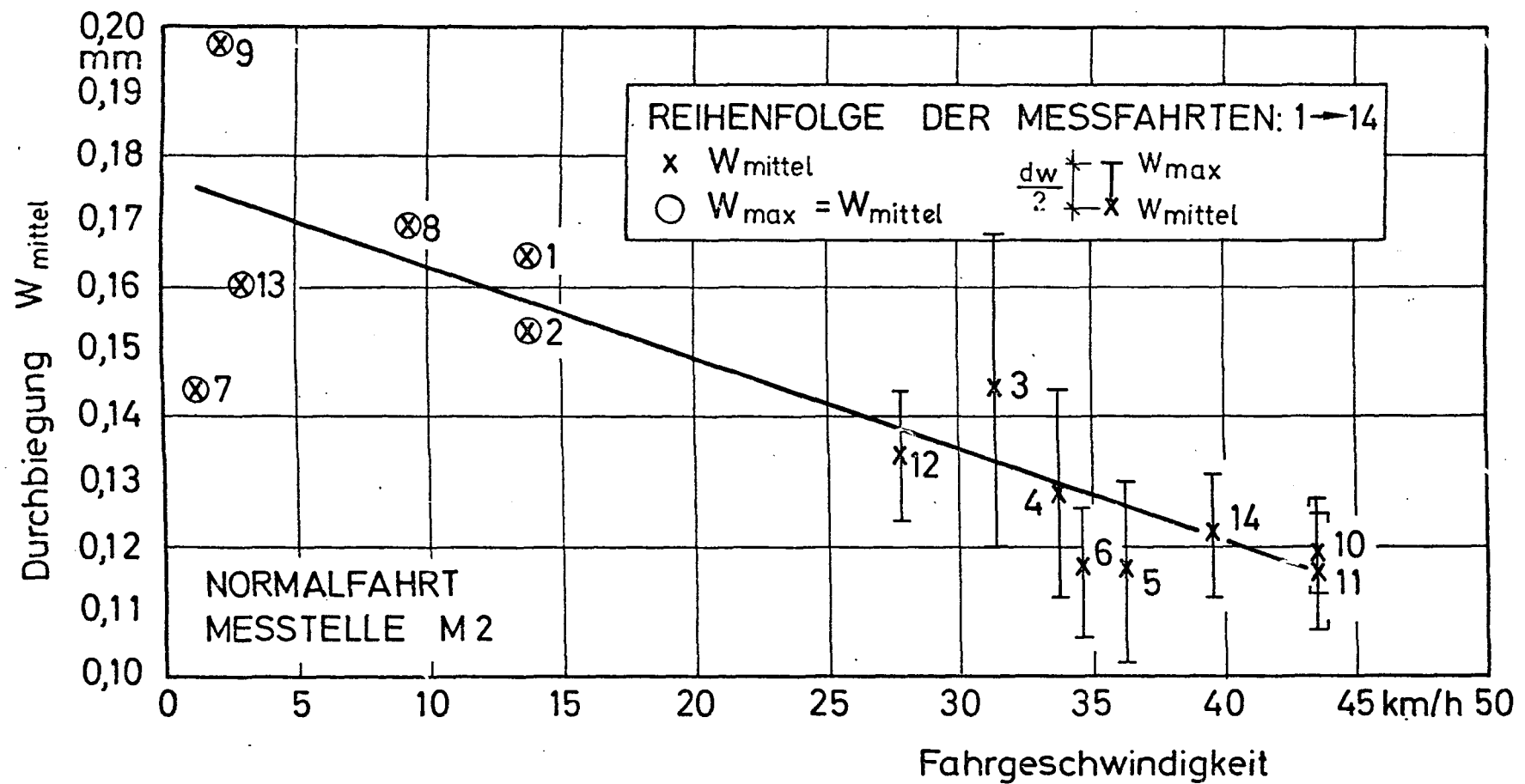
EINFLUSS DER GESCHWINDIGKEIT AUF φ
 – MESSUNG IM BAUWERK 1.5 –

Anlage 9



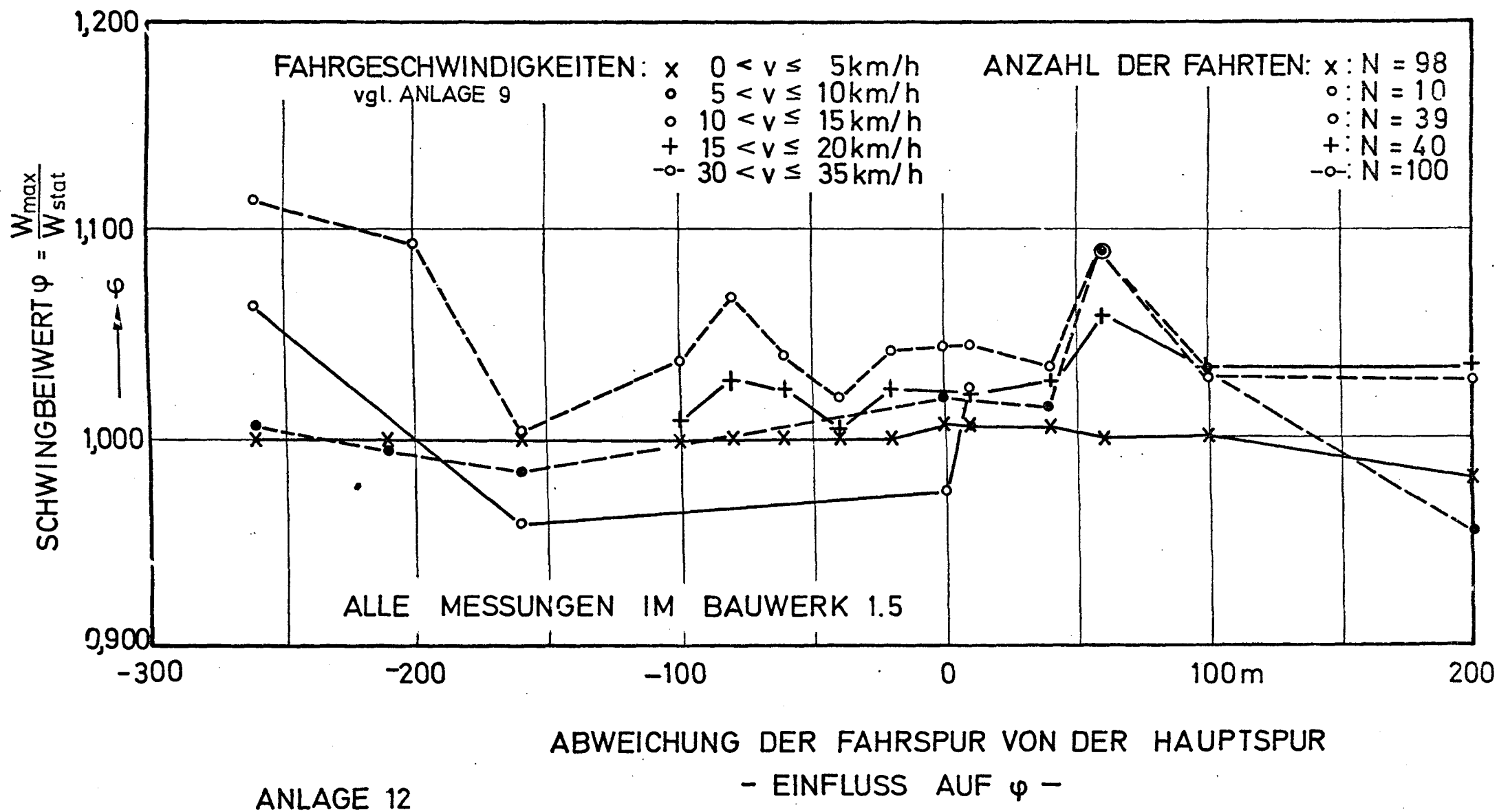
EINFLUSS DER GESCHWINDIGKEIT AUF φ_1
– MESSUNG IM BAUWERK 1.5 –

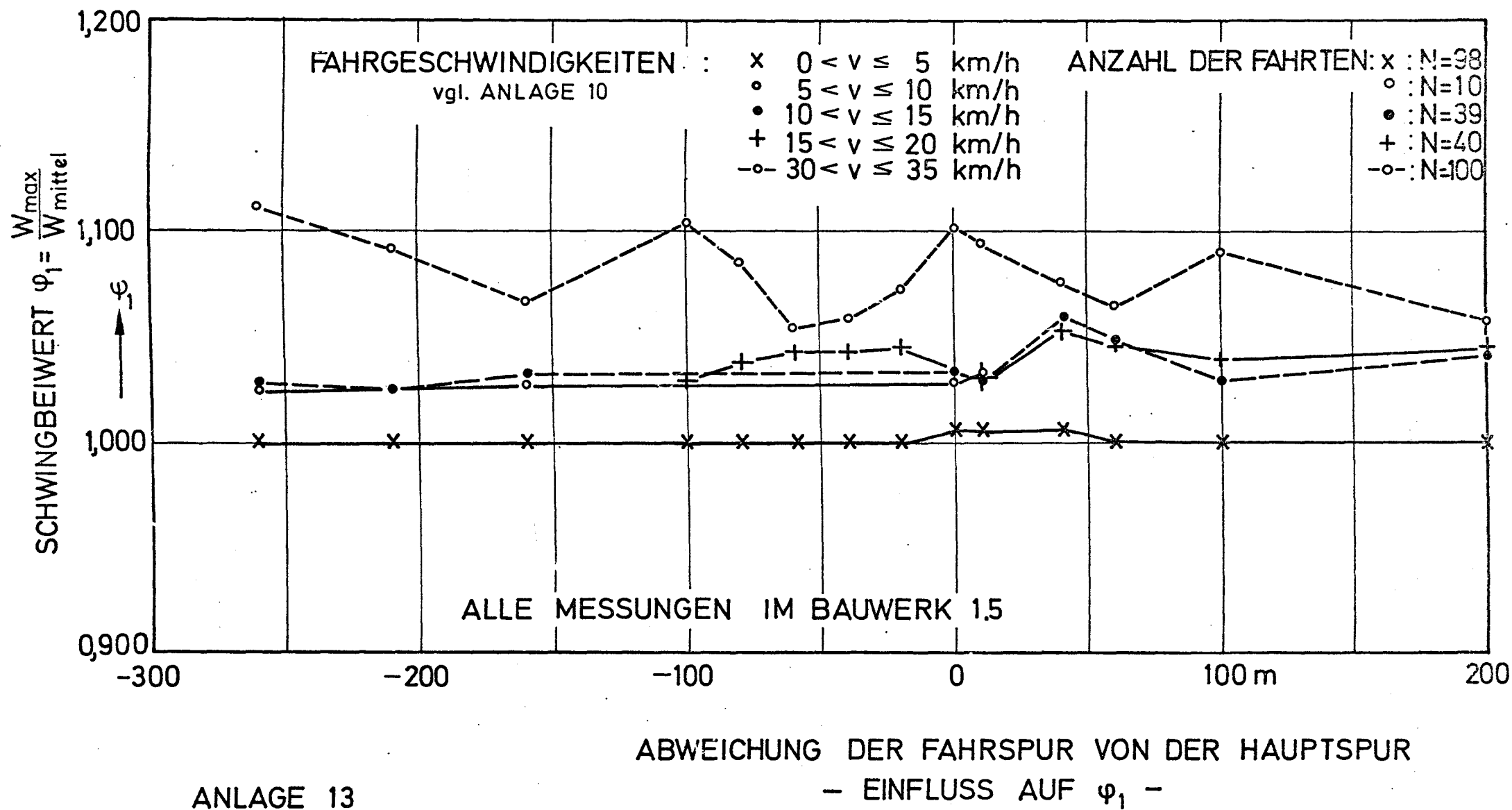
Anlage 10



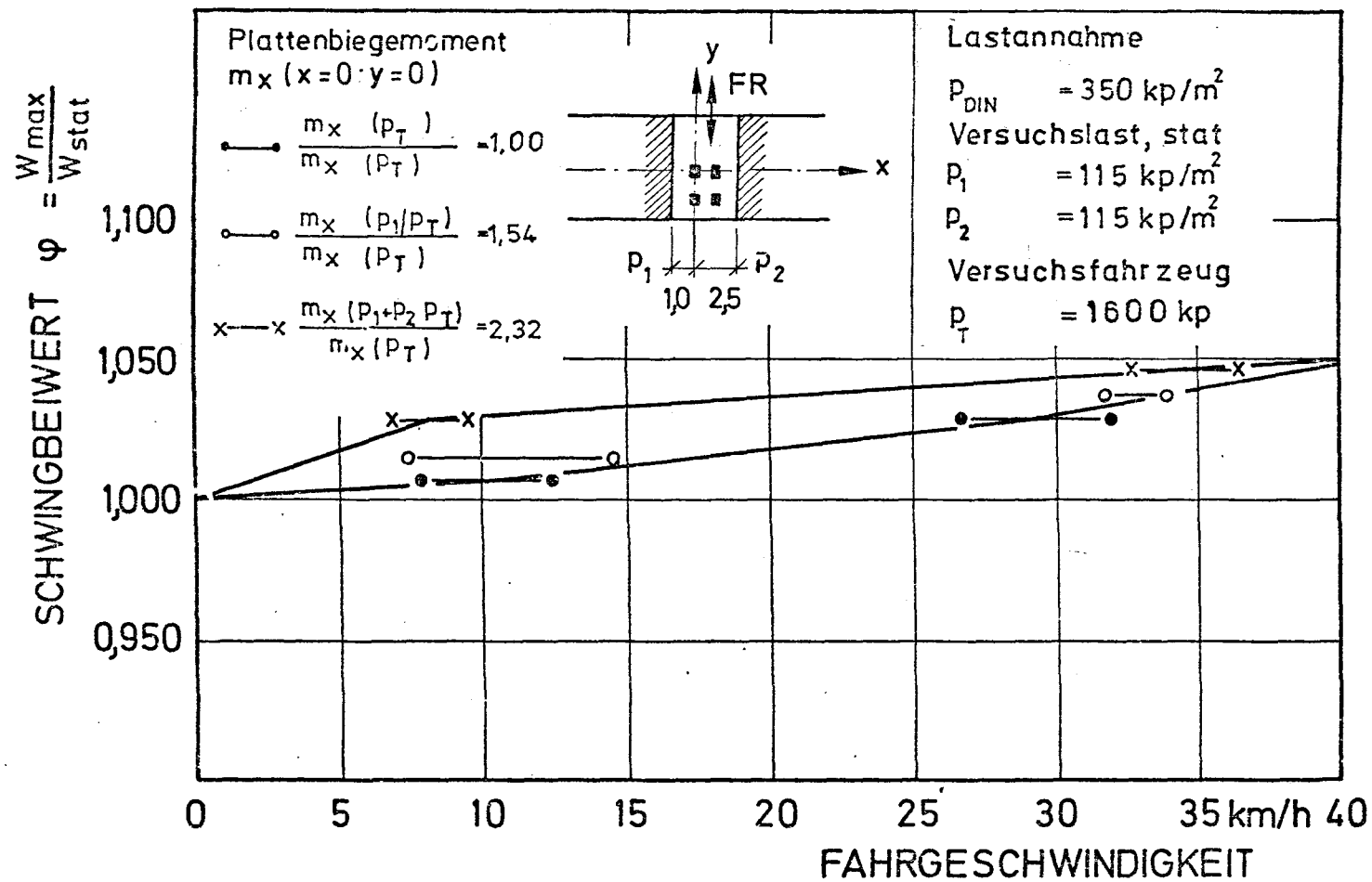
ÄNDERUNG DER DURCHBIEGUNG
 MIT ZUNEHMENDER FAHRGESCHWINDIGKEIT
 - MESSUNG AM BAUWERK 1.4 -

Anlage 11



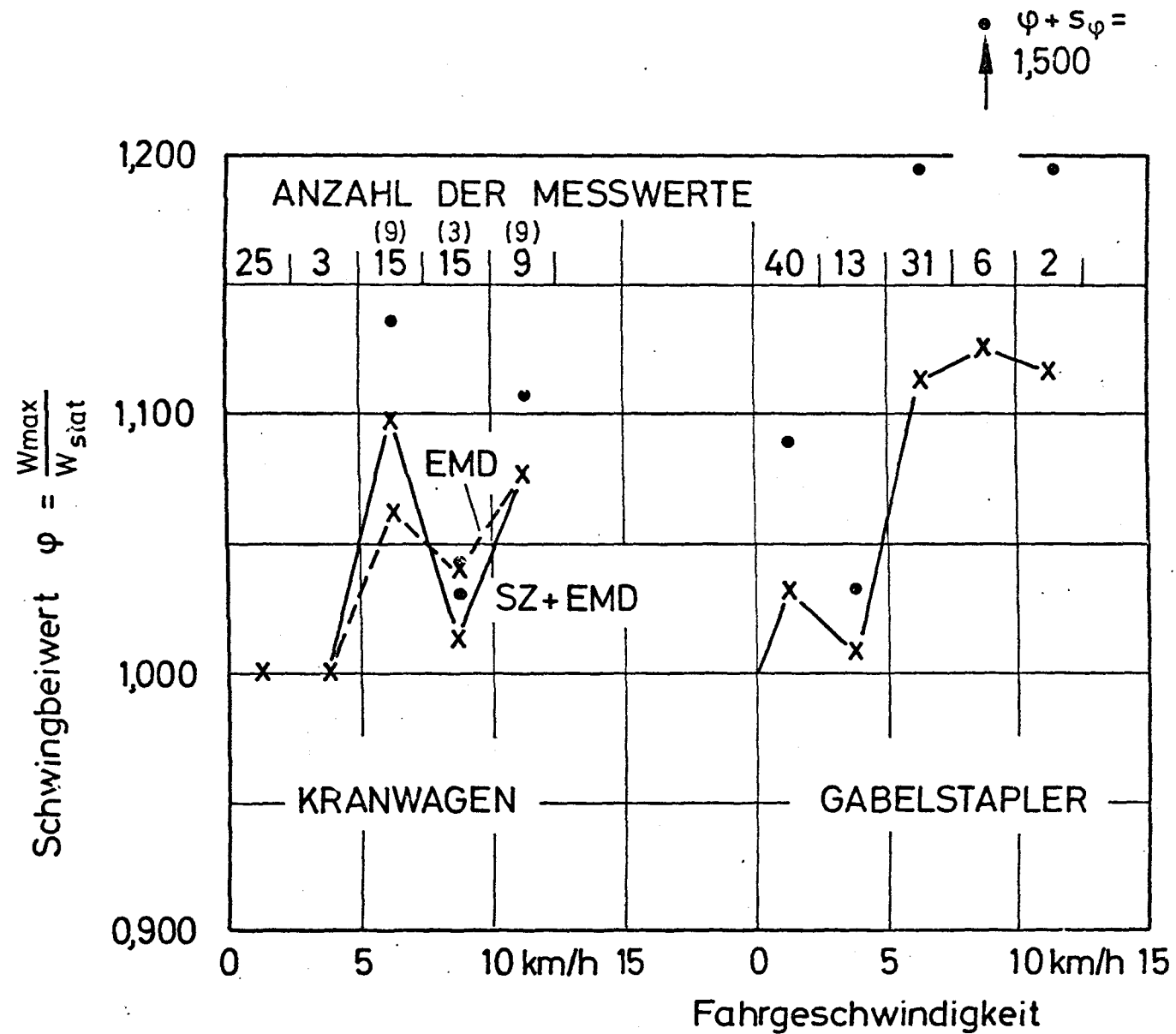


ANLAGE 13



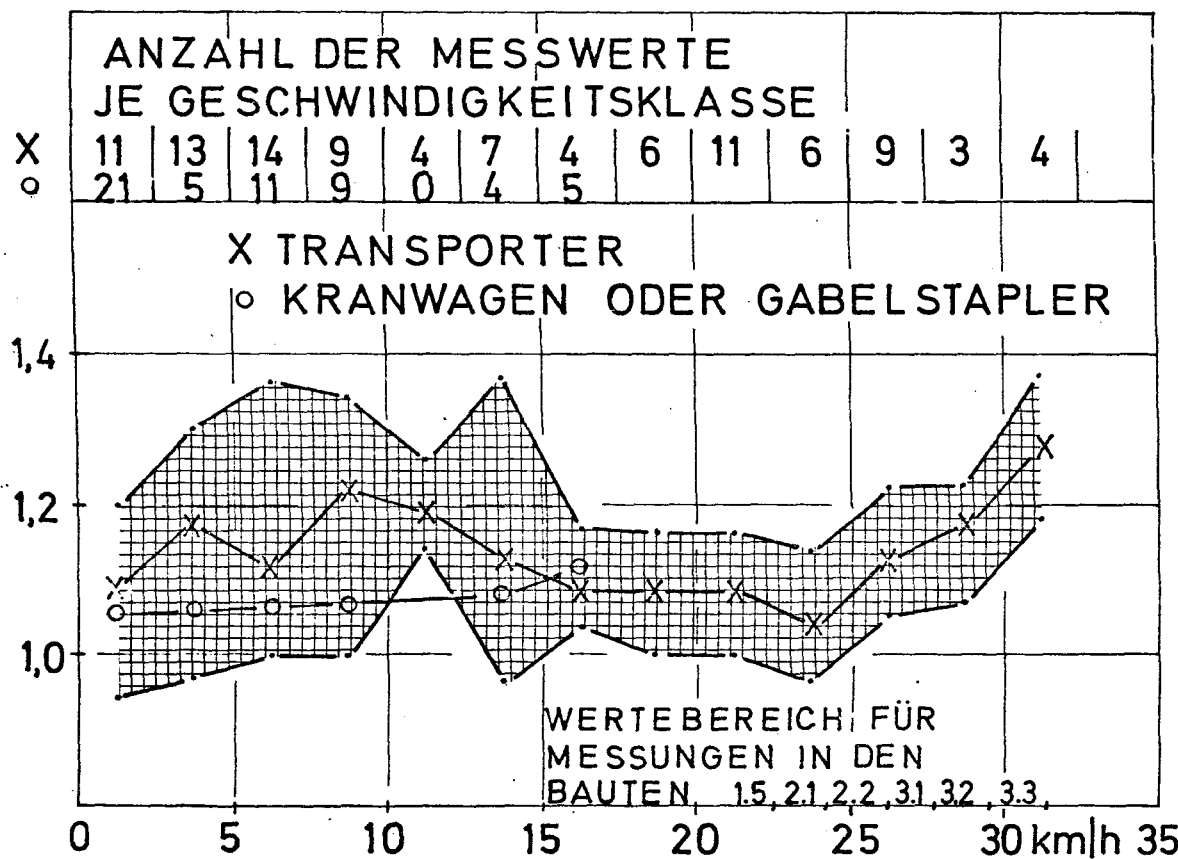
EINFLUSS DES BELASTUNGSGRADES
 AUF DEN SCHWINGBEIWERT
 - MESSUNG IM BAUWERK 1.5 -

Anlage 14



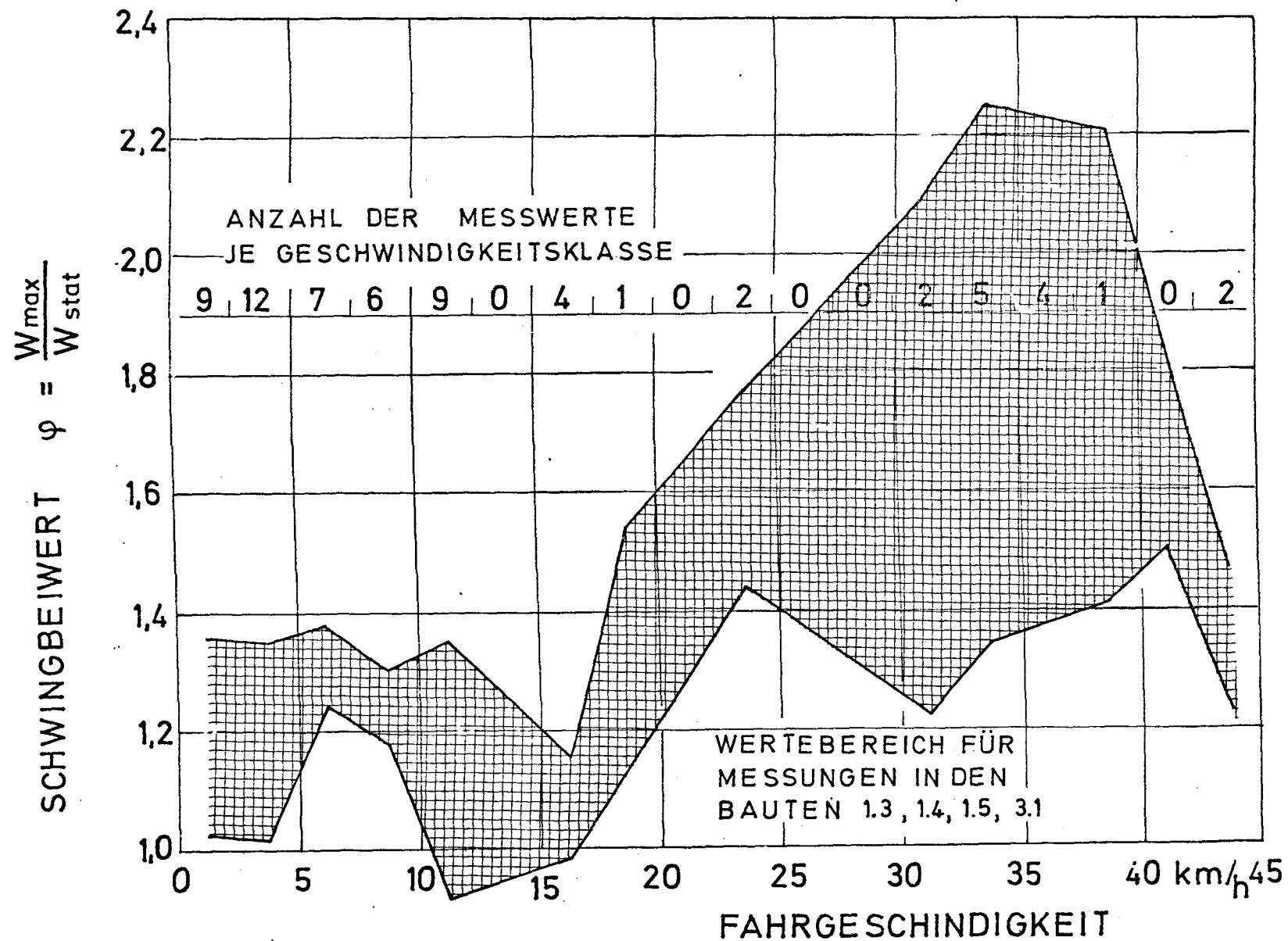
SCHWINGBEIWERT FÜR
KRWANWAGEN UND GABELSTAPLER

φ
 φ_1 ODER φ
 SCHWINGBEIWERT



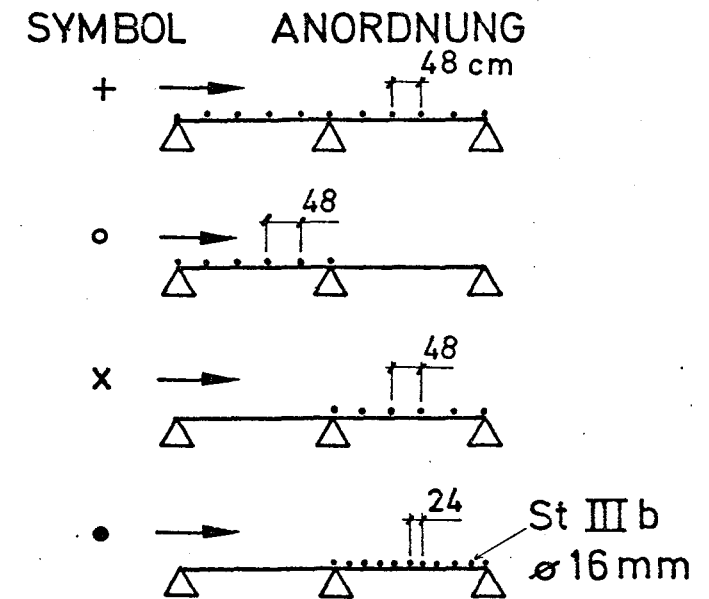
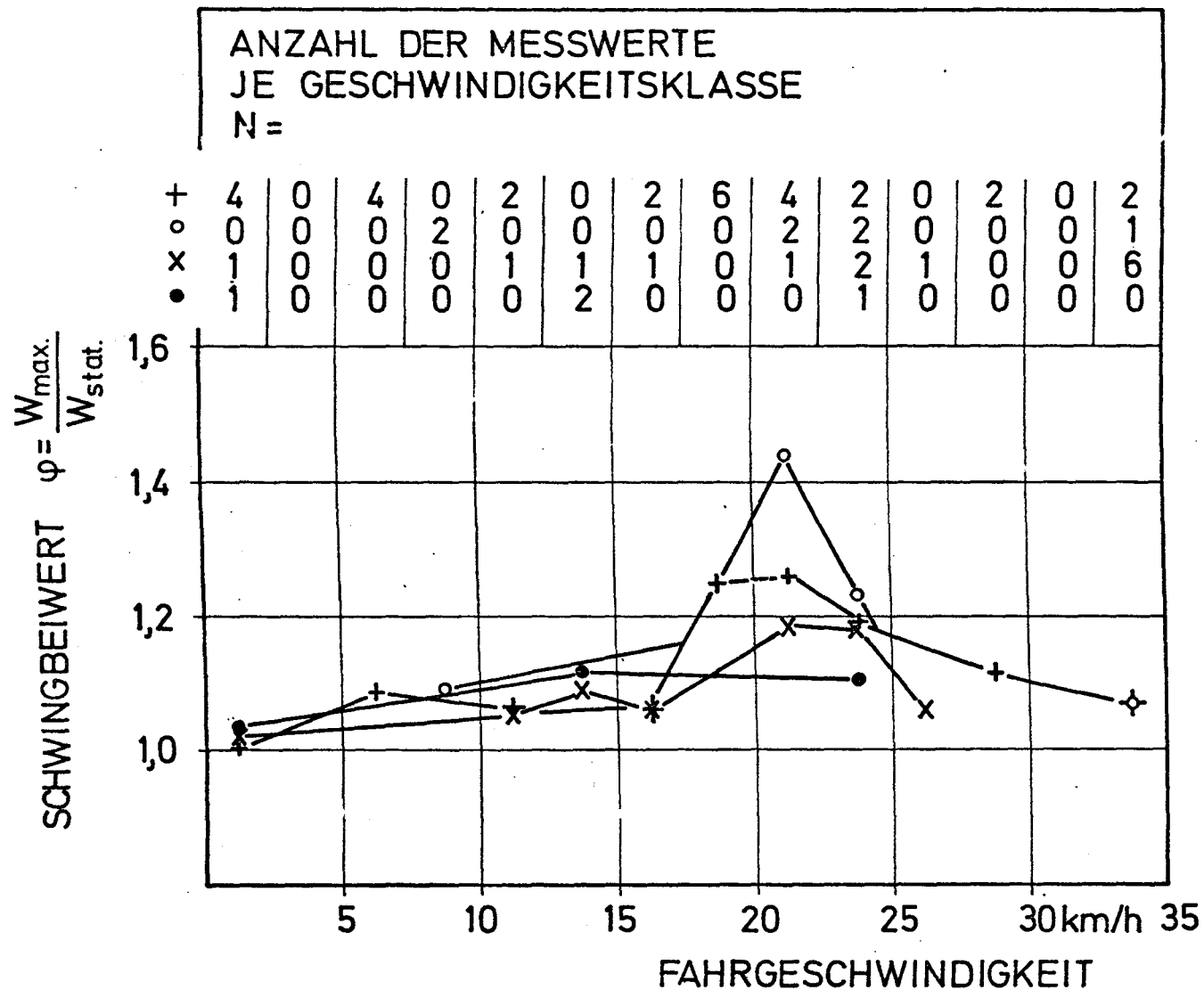
ANLAGE 16

FAHRGESCHWINDIGKEIT
 SCHWINGBEIWERT BEI SCHNELLSTOP



ANLAGE 17

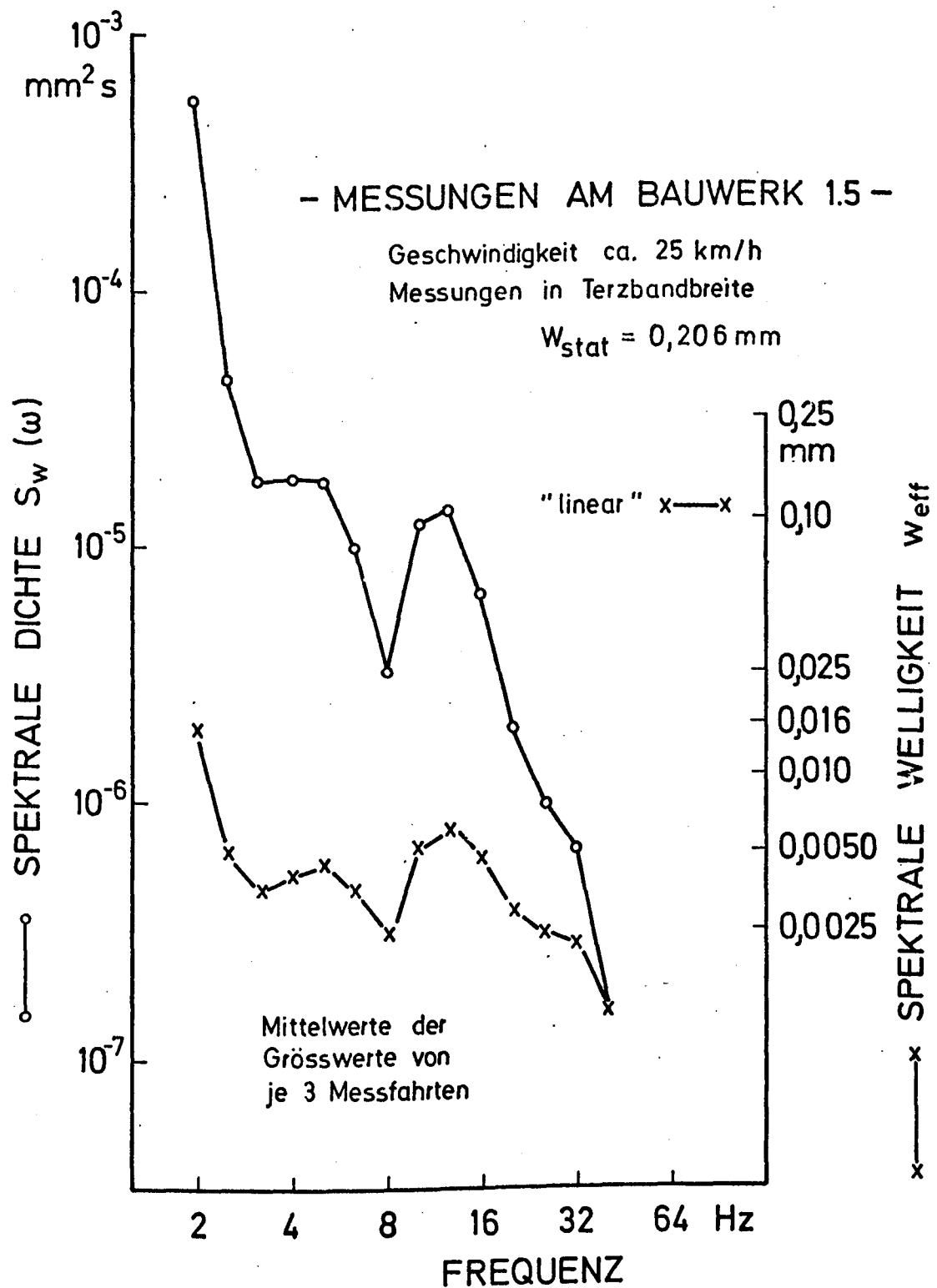
SCHWINGBEIWERT BEIM ÜBERFAHREN EINER
 EINZELNEN GRÖßEREN UNEBENHEIT



EIGENFREQUENZ
DER DECKE $f = 12 \text{ Hz}$

ANLAGE 18

SCHWINGBEIWERT VON RIFFELSTRECKEN
- MESSUNG IM BAUWERK 1.5 -



SPEKTRALE WELLIGKEIT UND DICHT

Anlage 19